Fisheries and Oceans Canada | Pêches et Océans Canada
Science | Sciences

CSAS | **SCCS**

Canadian Science Advisory Secretariat | **Secrétariat canadien de consultation scientifique**

Research Document 2004/120 | **Document de recherche 2004/120**

Not to be cited without
Permission of the authors *

Ne pas citer sans
autorisation des auteurs *

The Laurentian Channel as an Alternative Ballast Water Exchange Zone : Risks, Analysis and Recommendations

Le chenal Laurentien comme zone auxiliaire d'échange des eaux de lest : Risques, analyse et recommandations

Nathalie Simard, Magalie Hardy

Maurice Lamontagne Institute
Environmental Science Division
850 Route de la mer, P.O. Box 1000
Mont-Joli, Quebec
G5H 3Z4

Institut Maurice-Lamontagne
Direction des sciences de l'environnement
850, Route de la mer, Boîte postale 1000
Mont-Joli, Québec
G5H 3Z4

* This series documents the scientific basis for the evaluation of fisheries resources in Canada. As such, it addresses the issues of the day in the time frames required and the documents it contains are not intended as definitive statements on the subjects addressed but rather as progress reports on ongoing investigations.

* La présente série documente les bases scientifiques des évaluations des ressources halieutiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Research documents are produced in the official language in which they are provided to the Secretariat.

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

This document is available on the Internet at:

Ce document est disponible sur l'Internet à:

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/

ISSN 1499-3848 (Printed / Imprimé)
© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2004
© Sa majesté la Reine, Chef du Canada, 2004

Canada

ABSTRACT

The present report aims to provide an assessment of the risks that the use of the Laurentian Channel as an Alternative Ballast Water Exchange Zone (ABWEZ) may pose to fisheries and to the marine ecosystem of the St. Lawrence and Atlantic waters. These risks were evaluated by analysing: 1) the importance of foreign origin vessel traffic that used or can potentially use the Laurentian Channel for exchange; 2) the biodiversity and species richness of organisms found in ballast water and sediments of incoming foreign vessels; 3) environmental conditions of the Gulf of St. Lawrence (GSL); and 4) the dispersion patterns of organisms inoculated in this area with ballast water discharges.

Although the shipping industry does not appear to use the Laurentian Channel extensively as an ABWEZ, analyzed data indicated that a high number of vessels (1948), transporting 12.2 Mt of ballast waters, could have transited in this area in 2000 and potentially use it to perform ballast water exchanges. The majority of ballast waters from all vessels originated from FAO Region B where environmental conditions can be similar to those found in the GSL, particularly during the summer for the North and Baltic Seas. However, the vessels which have declared to have used the Laurentian Channel as ABWEZ originated principally from FAO Region A; the duration of trips from this region is generally shorter than for other FAO regions. Several studies showed that a diverse assemblage of live organisms (including non-indigenous

RÉSUMÉ

Le présent rapport a pour but d'évaluer les risques que représente l'utilisation du chenal Laurentien comme zone auxiliaire d'échange des eaux de lest (ZAEEL) pour les ressources halieutiques et les écosystèmes marins du Saint-Laurent et de l'Atlantique. L'évaluation de ces risques est fondée sur : 1) l'importance du trafic maritime en provenance de l'étranger qui a utilisé ou aurait pu utiliser le chenal Laurentien comme zone d'échange; 2) la diversité et la richesse spécifique des eaux de lest et des sédiments des navires en provenance de l'étranger; 3) les conditions environnementales du golfe du Saint-Laurent (GSL); 4) les schémas de dispersion des organismes introduits dans cette zone par le déversement des eaux de lest.

Bien que l'industrie maritime ne semble pas faire une utilisation intensive du chenal Laurentien comme ZAEEL, les données analysées indiquent qu'un grand nombre de navires (1948), transportant un volume total de 12,2 t d'eaux de lest, ont transité dans cette zone en 2000 et auraient pu y effectuer des échanges. La plus grande partie des eaux de lest de ces navires provenait de la Région B de l'Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO), où les conditions environnementales peuvent ressembler à celles du GSL, surtout l'été dans la mer du Nord et la mer Baltique. Toutefois, les navires qui ont déclaré avoir utilisé le chenal Laurentien comme ZAEEL arrivaient principalement de la Région A de la FAO, à partir de laquelle les voyages vers le Saint-Laurent sont généralement

taxa, toxic/harmful taxa and potential risk taxa) from all around the world are present in the ballast tanks of foreign vessels entering the Gulf of St. Lawrence. Simulations of the discharge of organisms in the Laurentian Channel showed that inoculated plankton is retained within the Gulf (higher retention of phytoplankton occurred in spring and late summer) and transported towards coastal areas. The model identified a few areas that are particularly at risk, depending on the season: the Magdelen Islands, southwestern Newfoundland, Northern Cape Breton Island and southern Anticosti Island.

The present risk assessment identified the ABWEZ southeast of Anticosti Island as a potentially vulnerable area for ballast water-mediated introduction of non-indigenous species into the Estuary and Gulf of St. Lawrence and Atlantic provinces. This risk is considered to be generally lower in winter because of cold conditions that prevail throughout the Gulf during that time of the year. However, although the survival rate would be low, there are always a few highly opportunistic forms which can manage to adapt to cold conditions. On the other hand, many taxa may survive during the summer months but their long-term prognosis may be limited.

plus courts qu'à partir des autres régions de la FAO. Plusieurs études ont montré que les ballasts des navires en provenance de l'étranger qui entrent dans le Saint-Laurent contiennent divers assemblages d'organismes vivants (y compris des taxons non indigènes, des taxons toxiques et/ou nuisibles et des taxons qui représentent un risque potentiel) provenant de diverses régions du monde. Des simulations de déversement d'organismes dans le chenal Laurentien ont montré que le plancton introduit est retenu dans le golfe (la rétention de phytoplancton est plus élevée au printemps et à la fin de l'été) et est transporté vers les côtes. Le modèle a mis en évidence quelques régions qui sont particulièrement exposées à ces déversements selon les saisons : les îles de la Madeleine, le sud-ouest de Terre-Neuve, le nord de l'île du Cap-Breton et le sud de l'île d'Anticosti.

La présente évaluation a permis de déterminer que l'utilisation de la ZAEEL située au sud-est de l'île d'Anticosti représente un risque d'introduction d'espèces non indigènes dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent et dans les provinces atlantiques. Le risque d'introduction est considéré comme étant généralement plus faible l'hiver en raison des basses températures qui règnent alors dans le golfe. Toutefois, bien que le taux de survie serait probablement faible pendant cette période, quelques espèces très opportunistes pourraient probablement s'adapter au froid. De plus, de nombreux taxons pourraient survivre pendant l'été, mais leurs chances de survie à long terme seraient peut-être limitées.

Given the high potential risk of aquatic invasive species (AIS) introduced through ballast water to the Gulf of St. Lawrence, River and Estuary, where local ecological conditions have proven conducive to the establishment of many types of AIS, the use of the Laurentian Channel as an ABWEZ should be minimized as much as possible. Under extraordinary circumstances, it is recommended that ballast water exchange be allowed if the ship is transiting the Laurentian Channel between December 1 and May 1 or if the ship is carrying freshwater ballast. A decision-support system would be needed to control ballast water exchange between the months of May and December.

En raison du risque potentiel élevé d'introduction d'espèces aquatiques envahissantes (EAE) par les eaux de lest dans le fleuve Saint-Laurent ainsi que dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, où des conditions écologiques locales se sont déjà avérées propices à l'établissement de nombreuses espèces d'EAE, l'utilisation du chenal Laurentien comme ZAEEL doit être limitée le plus possible. Dans des circonstances exceptionnelles, il est recommandé d'autoriser l'échange des eaux de lest dans le chenal Laurentien si le navire y transite entre le 1er décembre et le 1er mai ou si le navire est lesté d'eau douce. Un système d'aide à la prise de décision sera nécessaire pour contrôler l'échange des eaux de lest entre les mois de mai et de décembre.

CONTEXT OF THE REPORT

Over the last few years, scientists from Fisheries and Oceans Canada (DFO) have provided scientific advice for the management and regulation of ballast water exchange to Transport Canada via a number of mechanisms such as workshops and personal communications. In order to meet its objective of providing peer-reviewed science advice for use in regulatory development or decision making, DFO has been strengthening its science advisory process and initiated a peer-review on ballast water exchange sites. DFO scientists have been asked to develop three papers on: 1) alternative ballast water exchange zones on the east coast; 2) alternative ballast water exchange zones on the west coast; and 3) the Laurentian Channel as an alternative ballast water exchange zone.

The exchange zone papers address both trans-Pacific / trans-Atlantic and coastal traffic and focus on the following:

- discuss/describe any alternative ballast water exchange zones that already have been identified by other government departments or agencies;
- evaluate the risks that the identified zones may pose to fisheries resources and to the marine ecosystem; and
- identify and rationalize other zones that may pose a lower risk to fisheries resources and to the marine ecosystem. This element

CONTEXTE

Depuis quelques années, des scientifiques du ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO) fournissent à Transports Canada (TC) des avis scientifiques sur la gestion et la réglementation de l'échange des eaux de lest, et ce, au moyen de différents mécanismes tels que des ateliers et des communications personnelles. Afin d'atteindre son objectif de fournir des avis scientifiques revus par les pairs qui serviront à l'élaboration de règlements ou à la prise de décision, le MPO a renforcé son processus de consultation scientifique et a entrepris un processus d'examen par les pairs sur les zones d'échange des eaux de lest. Les scientifiques du MPO ont été chargés de préparer trois documents sur les sujets suivants : 1) les zones auxiliaires d'échange des eaux de lest sur la côte est; 2) les zones auxiliaires d'échange des eaux de lest sur la côte ouest; 3) le chenal Laurentien comme zone auxiliaire d'échange des eaux de lest.

Ces documents sur les zones d'échange portent sur les transports transpacifiques, transatlantiques et côtiers et traitent plus particulièrement des points suivants :

- l'étude ou la description de toute zone auxiliaire d'échange des eaux de lest qui a déjà été désignée par d'autres ministères ou organismes du gouvernement;
- l'évaluation des risques que peuvent représenter les zones désignées pour les ressources halieutiques et les écosystèmes marins;
- la désignation et la justification de

could include port-specific strategies.

nouvelles zones qui pourraient représenter un risque moindre pour les ressources halieutiques et les écosystèmes marins. Ce point peut inclure des stratégies concernant une zone portuaire particulière.

The three papers were presented at a workshop on alternative ballast water sites (November 30th – December 1st). The objective of this DFO workshop was to assess whether the conclusions presented in these draft papers were credible and supported by scientific data. The advice arising from the workshop will be provided to Transport Canada for consideration in the development of the Ballast Water Management Regulations, under the *Canada Shipping Act*, for all waters under Canadian jurisdiction.

Les trois documents ont été présentés lors d'un atelier portant sur les zones auxiliaires d'échange des eaux de lest (les 30 novembre et 1er décembre 2004). L'objectif de cet atelier était d'évaluer si les conclusions présentées dans ces documents préliminaires étaient valables et appuyées par des données scientifiques. L'avis qui découlera de cet atelier sera soumis à Transports Canada et sera pris en compte dans l'élaboration du *Règlement sur la gestion des eaux de lest* prévu par la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*, pour toutes les eaux de compétence canadienne.

In this context, the present report aims to provide an assessment of the risks of using the Laurentian Channel as an alternative ballast water exchange zone on a regular basis may pose to fisheries and to the marine ecosystem.

Dans ce contexte, le présent rapport vise à fournir une évaluation des risques que représente pour les ressources halieutiques et les écosystèmes marins l'utilisation régulière du chenal Laurentien comme zone auxiliaire d'échange des eaux de lest.

INTRODUCTION

The uptake of ballast water by commercial ships in a given port and its subsequent discharge in destination ports has been identified as a leading mechanism in the introduction of non-indigenous species in aquatic ecosystems world wide, some having major ecological and economic impacts on recipient communities (Carlton 2001; Carlton and Geller 1993; Hallegraeff 1995; Williams et al. 1988; see reviews in Carlton 1985 and in Ruiz and Carlton 2003). All around the world, it is well established that most ships carry a diverse assemblage of organisms, consisting of hundreds to thousands of species, in their ballast water and sediments (Carlton 1985; Carlton and Geller 1993; Drake et al. 2002; Chu et al. 1997; Galil & Hülsmann 1997; Gollasch et al. 1998, 2002; Hallegraeff 1995; Hallegraeff and Bolch 1991, 1992; Hamer et al. 2000; Hülsmann and Galil 2002; Lavoie et al. 1999; Macdonald 1995; McCarthy and Crowder 2000; McCarthy et al. 1992; McCarthy and Khambaty 1994; Pierce et al. 1997; Ruiz et al. 2000; Williams et al. 1988). Several studies have indicated that species diversity and abundance tended to decrease with increased voyage time (Carver and Mallet 2002; Chu et al. 1997; Dickman and Zhang 1999; Gollasch et al. 1995; MacIsaac et al. 2002; Williams et al. 1988). However, some of the individuals taken on board may survive voyages of several months duration (Carlton et al. 1995; Yoshida et al. 1996). The potential for ballasted organisms to invade depends on diverse factors including species-specific characteristics, inoculum density and frequency, and physical/chemical

INTRODUCTION

Le prélèvement d'eaux de lest par des navires commerciaux dans un port et le déversement subséquent de celles-ci dans les ports de destination sont considérés comme un des principaux mécanismes d'introduction des espèces non indigènes dans les écosystèmes aquatiques du monde entier. Certaines de ces introductions ont des impacts écologiques et économiques majeurs sur les communautés réceptrices (Carlton 2001; Carlton et Geller 1993; Hallegraeff 1995; Williams *et al.* 1988; voir revue de littérature dans Carlton 1985 et dans Ruiz et Carlton 2003). Il est reconnu partout dans le monde que la plupart des navires transportent des centaines à des milliers d'espèces dans leurs eaux de lest et leurs sédiments (Carlton 1985; Carlton et Geller 1993; Drake *et al.* 2002; Chu *et al.* 1997; Galil et Hülsmann 1997; Gollasch *et al.* 1998, 2002; Hallegraeff 1995; Hallegraeff et Bolch 1991, 1992; Hamer *et al.* 2000; Hülsmann et Galil 2002; Lavoie *et al.* 1999; Macdonald 1995; McCarthy et Crowder 2000; McCarthy *et al.* 1992; McCarthy et Khambaty 1994; Pierce *et al.* 1997; Ruiz *et al.* 2000; Williams *et al.* 1988). Plusieurs études ont montré que la diversité et l'abondance des espèces tendent à diminuer avec l'augmentation de la durée du voyage (Carver et Mallet 2002; Chu *et al.* 1997; Dickman et Zhang 1999; Gollasch *et al.* 1995; MacIsaac *et al.* 2002; Williams *et al.* 1988). Toutefois, certains individus peuvent survivre à des voyages de plusieurs mois (Carlton *et al.* 1995; Yoshida *et al.* 1996). La possibilité que les organismes transportés dans les eaux de lest envahissent le milieu

similarity between donor and recipient waters (Smith et al. 1997).

The rationale for mid-ocean exchange (MOE) is underpinned by two assumptions: (1) coastal species contained in ballast water will be replaced by oceanic species which are unlikely to survive when discharged into a coastal environment and (2) oceanic communities is less diverse and abundant than coastal communities. Based on the results of several studies, it is well recognized that the efficiency of MOE to reduce the abundance and species richness is usually <100% (i.e., incomplete) and highly variable with respect to particular ships, voyages, type of exchange option used, and different types of organisms (Carlton et al. 1995; Carver and Mallet 2002; Hallegraeff and Bolch 1991; Harvey et al. 1999; Locke et al. 1991, 1993; Rigby 2001; Rigby and Hallegraeff 1993, 1994; Ruiz and Hines 1997; Simard et al. 2002; Smith et al. 1999; Taylor et al. 2002; Williams et al. 1988; Wonham et al. 2001; Zhang and Dickman 1999). Some studies also noted that ballast water exchange in regional seas is less efficient than in oceanic waters and may increase the probability of dispersing non-indigenous species (Carver and Mallet 2002; MacDonald and Davidson 1998; Rigby 2001).

récepteur dépend de divers facteurs, entre autres des caractéristiques des espèces, de la densité et de la fréquence des inoculats et des similarités physiques ou chimiques entre les eaux des régions donneuses et réceptrices (Smith *et al.* 1997).

L'échange des eaux de lest en zone océanique (c'est-à-dire en haute mer) est fondé sur deux hypothèses : 1) les espèces côtières présentes dans les eaux de lest seront remplacées par des espèces océaniques peu susceptibles de survivre dans l'environnement côtier où elles seront déversées; 2) les communautés océaniques sont moins diversifiées et abondantes que les communautés côtières. Il est généralement reconnu que l'efficacité de l'échange océanique en matière de réduction de l'abondance et de la diversité des espèces est généralement inférieure à 100 %, c'est-à-dire incomplète, et varie grandement selon les navires, les voyages, les types d'échanges effectués et les espèces (Carlton *et al.* 1995; Carver et Mallet 2002; Hallegraeff et Bolch 1991; Harvey *et al.* 1999; Locke *et al.* 1991, 1993; Rigby 2001; Rigby et Hallegraeff 1993, 1994; Ruiz et Hines 1997; Simard *et al.* 2002; Smith *et al.* 1999; Taylor *et al.* 2002; Williams *et al.* 1988; Wonham *et al.* 2001; Zhang et Dickman 1999). De plus, certaines études ont montré que l'échange des eaux de lest dans les eaux côtières est moins efficace que dans les eaux océaniques et peut augmenter la probabilité de dispersion des espèces non indigènes (Carver et Mallet 2002; MacDonald et Davidson 1998; Rigby 2001).

Guidelines/Regulations on Ballast Water Management

Many countries now have policies to limit risks for the ballast water-mediated introduction of non-indigenous species and to reduce the impact and spread of established non-indigenous species (See review in Ruiz and Carlton 2003). American legislative initiatives are far ahead of Canada's for regulating ballast water. Under the 1996 *National Invasive Species Act* (NISA P.L. 104-332), the United States requires vessels traveling to the Great Lakes and the Hudson River to exchange ballast water, recommends that exchange takes place outside of the 200 mile Exclusive Economic Zone (EEZ) limit, and mandates all affected vessels to complete and submit a ballast water reporting form to the United States Coast Guard (USCG). Vessels traveling along the coast are exempted from both reporting and exchange. In July 2004, the USCG adopted more stringent regulations that require all vessels, including coastal traffic, to complete ballast water forms and all vessels crossing the EEZ to exchange ballast water at sea. Currently, all overseas vessels entering the Great Lakes are required to conduct an exchange to comply with USCG regulations under the *Nonindigenous Aquatic Nuisance Prevention and Control Act* and must stop at Massena, New York, for inspection (United States Coast Guard 1993).

Lignes directrices et règlements sur la gestion des eaux de lest

De nombreux pays ont adopté des politiques visant à limiter les risques d'introduction d'espèces non indigènes par les eaux de lest et à réduire l'impact et la dispersion des espèces non indigènes déjà établies (voir revue de littérature dans Ruiz et Carlton 2003). En matière de réglementation des eaux de lest, les mesures législatives des États-Unis surpassent celles du Canada. La *National Invasive Species Act* (NISA P.L. 104-332), une loi promulguée en 1996 aux États-Unis, oblige les navires voyageant sur les Grands Lacs et la rivière Hudson à échanger leurs eaux de lest, recommande que l'échange se fasse à l'extérieur de la zone économique exclusive (ZEE) de 200 milles et exige qu'un rapport sur les eaux de lest soit remis à la United States Coast Guard (USCG) pour tous les navires concernés. Les navires voyageant le long de la côte sont exemptés du rapport et de l'échange des eaux de lest. En juillet 2004, la USGC a adopté une réglementation plus stricte exigeant un rapport sur les eaux de lest pour tous les navires, y compris les navires côtiers, et l'échange des eaux de lest en mer pour tous les navires traversant la ZEE. Actuellement, tous les navires en provenance de l'étranger qui entrent dans les Grands Lacs doivent échanger leurs eaux de lest afin de se conformer aux règlements de la USCG, en vertu de la loi *Nonindigenous Aquatic Nuisance Prevention and Control Act* et doivent subir une inspection à Massena, dans l'État de New York (United States Coast Guard 1993).

In Canada, the *Voluntary Guidelines for*

En 1989, le Canada a adopté les

Control of Ballast Water Discharges from Ships Proceeding to the St. Lawrence River and Great Lakes were adopted in 1989. These guidelines encourage all ships to perform MOE outside of the EEZ and in locations where water depths are not less than 2000 meters, in order to limit the transfer of organisms by ships' ballast water into the Great Lakes. In September 2001, these guidelines were extended as national guidelines for all waters in Canada and were published as TP 13617E (Transport Canada 2002). Currently, all ships entering Canadian waters are expected to exchange ballast water outside of the EEZ in locations where water depths are not less than 2000 meters.

Lignes directrices facultatives pour le contrôle du déchargement du lest liquide des navires se dirigeant vers le Saint-Laurent fluvial et les Grands Lacs. Ces lignes directrices recommandent que tous les navires procèdent à l'échange des eaux de lest en zone océanique à l'extérieur de la ZEE et à des endroits où la profondeur de l'eau est d'au moins 2000 m afin de réduire l'introduction d'organismes par les eaux de lest dans les Grands Lacs. En septembre 2001, ces lignes directrices sont devenues des directives nationales s'appliquant à toutes les eaux canadiennes et sont présentées dans la publication TP 13617F (Transports Canada 2002). Actuellement, on demande à tous les navires qui entrent en eaux canadiennes d'échanger leurs eaux de lest à l'extérieur de la ZEE à des endroits où la profondeur de l'eau est d'au moins 2000 m.

If ballast water exchanges in the Atlantic Ocean are not feasible due to safety concerns such as weather conditions and ship stability, ships arriving from outside the EEZ are allowed to conduct their exchange in an alternative ballast water exchange zone (ABWEZ) located within the Laurentian Channel in the Gulf of St. Lawrence (GSL), where the depth exceeds 300 m and east of 63° W longitude (Figure 1). The prescribed area is 350 to 400 km long and is located relatively close to coastal waters of Anticosti Island, the Gaspé Peninsula and the Magdalen Islands which support important fisheries, including snow crab, lobster, and shrimp (Dickie and Trites 1983).

Si l'échange des eaux de lest dans l'océan Atlantique est impossible pour des raisons de sécurité, telles que les conditions météorologiques et la stabilité du navire, les navires arrivant de l'extérieur de la ZEE sont autorisés à effectuer leur échange dans la zone auxiliaire d'échange (ZAEEL) située dans le chenal Laurentien, dans le golfe du Saint-Laurent (GSL), à l'est de 63° de longitude ouest et à des endroits où la profondeur de l'eau est d'au moins 300 m (Figure 1). La région prescrite a une longueur de 350 à 400 km et se trouve à proximité de l'île d'Anticosti, de la Gaspésie et des îles de la Madeleine, où il y a des pêches importantes, par exemple celle du crabe des neiges, du homard et de la crevette (Dickie et Trites 1983).

Objectives

The present report aims to provide an assessment of the risks that the use of the Laurentian Channel as an ABWEZ may pose to fisheries and to the marine ecosystem of the St. Lawrence and Atlantic waters. These risks were evaluated by analysing: 1) the importance of foreign origin vessel traffic that used or can potentially use the Laurentian Channel for exchange; 2) the biodiversity and species richness of organisms found in ballast water and sediments of incoming foreign vessels; 3) environmental conditions of the Gulf of St. Lawrence; and 4) the dispersion patterns of organisms inoculated in this area with ballast water discharges. Finally, a list of recommendations is provided to minimize risks and research needs are identified.

Objectifs

Le but du présent rapport est de fournir une évaluation des risques que peut représenter l'utilisation du chenal Laurentien comme ZAEEL pour les ressources halieutiques et les écosystèmes marins du Saint-Laurent et de l'Atlantique. L'évaluation de ces risques est fondée sur l'analyse : 1) de l'importance du trafic maritime en provenance de l'étranger qui a utilisé ou aurait pu utiliser le chenal Laurentien comme zone d'échange; 2) de la biodiversité et de la richesse spécifique des eaux de lest et des sédiments des navires en provenance de l'étranger; 3) des conditions environnementales du golfe du Saint-Laurent; 4) des schémas de dispersion des organismes introduits dans cette zone par les déversements d'eaux de lest. Ce rapport comprend également une liste de recommandations visant à réduire ces risques et traite des besoins en recherche dans ce domaine.

RISK ASSESSMENT

Shipping traffic

Understanding the patterns of shipping traffic is essential to more precisely determine the risks associated with the use of the Laurentian Channel for ballast water exchange. Risks related to ship traffic have been evaluated by examining the number and types of vessels navigating through the ABWEZ and the sources and amount of ballast water transported and/or discharged into the area.

Methods

To determine foreign maritime traffic patterns in the St. Lawrence and Great Lakes, we have analyzed data from the Transport Canada ECAREG-VTS (Eastern Canada Region – Vessel Traffic Service) database (provided by M. Balaban) and from the Canadian Coast Guard DADS (Data Acquisition Display System) database (provided by J.-F. Pelletier, Maritime Innovation). Only data for foreign vessels that may potentially conduct ballast water exchanges in the Laurentian Channel were retained for this analysis, including vessels that visited ports in the north-western Gulf of St. Lawrence (Gaspé Peninsula and North Coast), the Estuary, the River Stretch and the Great Lakes (either American or Canadian ports). Countries of origin were classified following the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) standardized ocean regions (Figure 2).

ÉVALUATION DES RISQUES

Le trafic maritime

Il est essentiel de bien connaître le trafic maritime pour déterminer précisément les risques liés à l'utilisation du chenal Laurentien comme zone d'échange des eaux de lest. L'évaluation des risques liés au trafic maritime a été faite en examinant le nombre et les types de navires circulant dans les ZAEEL ainsi que la provenance et le volume des eaux de lest transportées ou déversées dans cette zone.

Méthodes

Pour connaître le trafic maritime en provenance de l'étranger dans le Saint-Laurent et dans les Grands Lacs, nous avons analysé les données provenant des bases de données ECAREG-VTS (Eastern Canada Region–Vessel Traffic Service) de Transports Canada (fournies par M. Balaban) et DADS (Data Acquisition Display System), de la Garde côtière canadienne (fournies par J.-F. Pelletier, Maritime Innovation). Seules les données des navires en provenance de l'étranger susceptibles d'échanger leurs eaux de lest dans le chenal Laurentien ont été retenues pour cette analyse, y compris les navires qui ont visité les ports du nord-ouest du golfe du Saint-Laurent (Gaspésie et Côte-Nord), de l'estuaire, du fleuve et des Grands Lacs (ports canadiens ou états-uniens). Les pays de provenance des navires ont été classés en fonction des régions océaniques normalisées établies par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (voir Figure 2).

Number of arrivals

In 2000, 1948 foreign vessels were bound for ports within the St. Lawrence and Great Lakes region that were retained within the analysis (Figure 3), representing 35% (1948/5504) of all foreign maritime traffic in Atlantic Canadian waters (Balaban 2001). Of these vessels, 25.5% (497/1948) were travelling in ballast. This proportion is dominated by bulk carriers which represent 49.4% of the total number of trips (Figure 4) with little seasonal variation (Figure 5). A small decrease related to ice conditions is observed during the winter, particularly upstream of Montreal where the maritime seaway is closed from the beginning of January to the end of March.

Vessel Origin

In 2000, vessels bound for the St. Lawrence and Great Lakes came from ports located in 70 different countries belonging to 12 different FAO Regions (Figure 6). We found that 45.4% of vessels originated from Region B (Northeast Atlantic). In order of importance, other regions of origin include: Region G (Western Central Atlantic), Region C (Mediterranean and Black Sea), Region A (Northwest Atlantic), Region M (Southwest Atlantic) and Others (H, N, D, F, J, L, I, and the Persian Gulf). The vessel origins varied little seasonally for both vessels in ballast (Figure 7) and in cargo (Figure 8). Trips in ballast and in cargo from Region B represented 48% and 44.4%, respectively, of the total number of trips in each group (Figure 7, 8). Trips for ships originating in Regions G, A and C

Nombre d'arrivées

En 2000, 1948 navires en provenance de l'étranger se sont rendus dans les ports du Saint-Laurent et des Grands Lacs qui ont été retenus pour l'analyse (Figure 3). Ces navires représentaient 35 % (1948/5504) de tous les navires en provenance de l'étranger dans les eaux canadiennes atlantiques (Balaban 2001) et 25,5 % (497/1948) d'entre eux étaient sur lest. La majorité de ces derniers étaient des vraquiers, qui représentaient 49,4 % du nombre total de voyages (Figure 4) avec peu de variations saisonnières (Figure 5). Une légère diminution due aux conditions de la glace a été observée au cours de l'hiver, particulièrement en amont de Montréal où la Voie maritime est fermée du début de janvier à la fin de mars.

Provenance des navires

En 2000, les navires à destination du Saint-Laurent et des Grands Lacs sont arrivés de ports situés dans 70 pays appartenant à 12 régions de la FAO (Figure 6). Une proportion de 45,4 % de ces navires provenait de la Région B (Atlantique nord-est). Les autres régions de provenance étaient, en ordre d'importance : la Région G (Atlantique centre-ouest), la Région C (Méditerranée et mer Noire), la Région A (Atlantique nord-ouest), la Région M (Atlantique sud-ouest) et les régions Autres (H, N, D, F, J, L, I et le golfe Persique). Il y a eu peu de variations saisonnières dans les provenances des navires sur lest (Figure 7) et des navires chargés (Figure 8). Les voyages sur lest et chargés de la Région B ont représenté 48 % et 44,4 % respectivement du nombre total de

accounted for the other important part of the total number of trips made in ballast and in cargo. Ports from these areas are mainly located in the northeast, northwest, and western central Atlantic and the Mediterranean Sea, particularly from areas in the North Sea and Baltic Sea, and along the eastern and southern coasts of the United States.

voyages dans chaque groupe (Figures 7 et 8). Les voyages des navires provenant des régions G, A et C ont représenté l'autre partie importante du nombre total de voyages sur lest et chargés. Les ports de ces régions sont principalement situés dans l'Atlantique nord-est, nord-ouest et centre-ouest et dans la mer Méditerranée, particulièrement dans les mers du Nord et Baltique et sur les côtes est et sud des Etats-Unis.

Vessel Ballast Water Capacity and Total Vessel Ballast Water carried on Arrival

Established relationships between the ballast water capacity and the vessel gross registered tonnage (GRT), and between the total vessel ballast water carried on arrival and GRT (Harvey et al. 1999; Bourgeois et al. 2001), were used to estimate those parameters for all vessels and only for vessels in ballast in 2000 (see Tables 1 to 4). The estimated ballast water capacity of all foreign vessels was 26.8 Mt in 2000 (Table 1) which is similar to quantities presented in Bourgeois et al. (2001) (annual mean from 1978 to 1996 for the Great Lakes and St. Lawrence) and in Harvey et al. (1999) (1995 shipping season for the St. Lawrence Estuary and Northerwestern Gulf of St. Lawrence) (see Table 2 for more details). For the year 2000, we estimated that 12.2 Mt of ballast water was carried on arrival by all the foreign vessels retained in this analysis (Table 3). For all vessels, the quantities carried varied little on a seasonal basis, ranging from a 2.9 Mt in winter to 3.3 Mt in the fall. Vessels bound for the north-western Gulf of St. Lawrence transported 10.1 Mt of ballast water for the entire year, representing 82.6% of the total

Capacité en eaux de lest et volume total d'eaux de lest des navires à l'arrivée

Les relations établies entre la capacité en eaux de lest et le tonnage brut des navires ainsi qu'entre le volume total d'eaux de lest à l'arrivée et le tonnage brut des navires (Harvey *et al.* 1999; Bourgeois *et al.* 2001), ont été utilisées pour estimer ces paramètres pour tous les navires et pour les navires sur lest en 2000 (tableaux 1 à 4). La capacité en eaux de lest estimée pour tous les navires en provenance de l'étranger était de 26,8 t en 2000 (Tableau 1), ce qui est comparable aux quantités présentées par Bourgeois *et al.* (2001) (moyenne annuelle de 1978 à 1996 pour les Grands Lacs et le Saint-Laurent) et par Harvey *et al.* (1999) (saison de navigation 1995 dans l'estuaire du Saint-Laurent et le nord-ouest du golfe du Saint-Laurent) (voir les détails au tableau 2). Pour l'année 2000, nous avons estimé que tous les navires en provenance de l'étranger retenus pour cette analyse transportaient 12,2 t d'eaux de lest à l'arrivée (Tableau 3). Il y a eu peu de variations saisonnières des volumes transportés par tous les navires : de 2,9 t en hiver à 3,3 t à l'automne. Les navires à destination du nord-ouest du

estimated volume. Foreign vessels in ballast carried 11.3 Mt (92.7%) (Table 4) of the total quantity of ballast water transported (Table 3). Again, the estimated ballast water carried is similar to results obtained by Bourgeois et al. (2001) (annual mean 1994-1996) and Harvey et al. (1999) (Table 5). In 2000, 76.1% of the estimated ballast water carried on arrival originated from Region B (Figure 9). Other important donor areas include FAO Regions C, G and A, for which ballast water quantities are respectively 11.6%, 5.0% and 4.8%. The origin of the ballast water shows little seasonal variation. Additional figures are presented in appendices (A, B, C, D) for more detailed information on shipping traffic.

golfe du Saint-Laurent ont transporté 10,1 t d'eaux de lest au cours de l'année, ce qui représentait 82,6 % du volume total estimé. Les navires sur lest en provenance de l'étranger ont transporté 11,3 t (92,7 %) (Tableau 4) du volume total d'eaux de lest transporté (Tableau 3). Une fois de plus, le volume estimé d'eaux de lest transporté est comparable à celui obtenu par Bourgeois *et al.* (2001) (moyenne annuelle de 1994 à 1996) et par Harvey *et al.* (1999) (Tableau 5). En 2000, 76,1 % du volume estimé d'eaux de lest transporté par les navires à l'arrivée provenaient de la Région B (Figure 9). Parmi les autres importantes régions de provenance, on comptait les régions C, G et A de la FAO avec des volumes d'eaux de lest de 11,6 %, de 5,0 % et de 4,8 % respectivement. La provenance des eaux de lest a subi peu de variations saisonnières. Les figures présentées en annexes A, B, C et D fournissent des informations plus détaillées sur le trafic maritime.

In summary, the international shipping activities navigating through the Laurentian Channel is quite intense and a high proportion of vessels arrive in ballast. We have estimated that 12.2 Mt of ballast water was transported by foreign vessels through the ABWEZ in 2000. These high ballast water quantities are similar to ones transported towards Chesapeake Bay which is considered to be a hot spot for the introduction of non-indigenous harmful species (Bourgeois et al. 2001, see review in Carver and Mallet 2004, Chesapeake Bay Commission 1995). Finally, the highest proportion of these ballast waters originated from FAO Region B where environmental conditions are similar to those in the

En résumé, la circulation maritime internationale est assez intense dans le chenal Laurentien, et une forte proportion des navires entrants sont sur lest. Nous avons estimé que les navires en provenance de l'étranger ont transporté 12,2 t d'eaux de lest dans cette ZAEEL en 2000. Ces grands volumes sont comparables à ceux transportés vers la baie de Chesapeake, qui est considérée comme un point névralgique de l'introduction d'espèces nuisibles non indigènes (Bourgeois *et al.* 2001, voir revue de littérature dans Carver et Mallet 2004, Chesapeake Bay Commission 1995). La plupart de ces eaux de lest provenaient de la Région B de la FAO où les conditions environnementales

GSL during some periods of the year, particularly for the North and Baltic Seas (Becker and Wegner 1993; Stigebrandt 2001).

sont semblables à celles du GSL pendant certaines périodes de l'année, notamment dans les mers du Nord et Baltique (Becker et Wegner 1993; Stigebrandt 2001).

The use of the Laurentian Channel as an ABWEZ in 2000

L'utilisation du chenal Laurentien comme ZAEEL en 2000

Transport Canada (TC) has found very high rates of compliance with ballast water guidelines. According to a survey conducted by TC (see Appendix D, RNT Consulting 2002), 77% of all ships entering the GSL exchanged ballast water in mid-ocean in 2001. Of the remainder, 8.5% are ships that declared that they were coming up the North American coastline and thus were exempt from the need to exchange. A further 13% did not have a clear reason for not exchanging and may in fact also be part of the coastal trade. Less than 1% of all ships surveyed declared safety as a reason for not doing the exchange offshore or before entering Canadian waters.

Selon Transports Canada (TC), une très forte proportion des navires respectent les lignes directrices pour l'échange des eaux de lest. Une étude menée par ce ministère (voir Annexe D de RNT Consulting 2002) a montré que 77 % des navires qui sont entrés dans le golfe du Saint-Laurent ont échangé leurs eaux de lest en zone océanique (en haute mer) en 2001. Parmi les autres navires, 8,5 % ont déclaré avoir remonté la côte nord-américaine et ont ainsi été exemptés de l'échange. Un autre 13 % n'avaient pas de raison claire de ne pas avoir échangé leurs eaux et faisaient peut-être aussi partie des navires côtiers. Moins de 1 % de tous les navires ont invoqué des raisons de sécurité pour ne pas avoir fait l'échange au large avant d'entrer en eaux canadiennes.

An analysis of the ECAREG-VTS database by G. Herbert from DFO is given as an appendix in RNT Consulting (2002). Data collected in 1997 show that 56 ships used the Laurentian Channel for ballast adjustment or discharge. This number was 43 ships in 2000. A comparison of the 2000 data (Appendix C, in RNT Consulting 2002) with the data received from the USCG in Messina (Appendix B, in RNT Consulting 2002), shows an overlap of only 4 ships. The other 8 vessels reported at Messina were not included within the ECAREG database

Une analyse de la base de données ECAREG-VTS réalisée par G. Herbert du MPO est présentée en annexe du document de RNT Consulting (2002). Les données montrent que 56 navires ont utilisé le chenal Laurentien pour le réajustement ou le déversement de leur lest en 1997 et que 43 navires l'ont utilisé en 2000. La comparaison des données de 2000 (Annexe C dans RNT Consulting 2002) avec les données de la USCG de Messina (Annexe B dans RNT Consulting 2002) montre un chevauchement de seulement quatre navires. Les huit autres navires

(66% missing vessels). Based on this combined information, a total of 51 vessels have probably used the ABWEZ in 2000 to perform ballast water exchanges. Of these, 2 ships have declared to have no ballast on board (NOBOB) and intended to uptake ballast waters from the Gulf or Cabot Strait. The commodity trip was determined for only 42 of the 49 remaining vessels. Of these, 22 ships were in cargo and 20 ships were in ballast. Of the 49 vessels that could have potentially performed exchanges in the Laurentian Channel, 25 vessels were bulk carriers, 15 were general cargo ships, 7 were tankers, 1 was a merchant reefer and 1 vessel was a tug.

rapportés à Messina n'ont pas été inclus dans la base de données ECAREG (66 % des navires manquants). Selon cette information combinée, 51 navires au total ont probablement utilisé la ZAEEL en 2000 pour échanger leurs eaux de lest. Deux de ces navires ont déclaré n'avoir aucun lest (NOBOB) et avaient l'intention de prendre des eaux de lest dans le golfe ou dans le détroit de Cabot. Le type de cargaison a pu être déterminé pour seulement 42 des 49 navires restants. Parmi ceux-ci, 22 étaient chargés et 20 étaient sur lest. Parmi les 49 navires qui auraient pu échanger leurs eaux dans le chenal Laurentien, il y avait 25 vraquiers, 15 cargos généraux (c.-à-d. de marchandises générales), 7 navires-citernes, 1 navire réfrigéré et 1 remorqueur.

The last visited port was determined for only 42 of the 49 vessels that declared to have performed ballast water exchanges in the Laurentian Channel. The majority of vessels from foreign origin (38) came from an American port, three ships originated from Denmark, Spain and United Kingdom. One vessel came from a Canadian port (Nova Scotia). These ships originated from FAO Regions A (44%), G (35%), B (5%) and C (1%). It was not possible to determine the origin of 17% of the ships. The quantities of ballast water exchanged in the Laurentian Channel were reported for only 12 of the 49 vessels and averaged 2444 tonnes of ballast water/vessel (ranging from 238 to 9594 tonnes). Nine ships were bulk carriers (an average of 3133 tonnes of ballast water/vessel was exchanged), 2 were general cargo ships (354 tonnes/vessel) and one was a tanker

Il a été possible de déterminer le dernier port visité pour seulement 42 des 49 navires qui ont déclaré avoir échangé leurs eaux de lest dans le chenal Laurentien. La majorité des navires en provenance de l'étranger (38) arrivaient d'un port états-unien, trois arrivaient du Danemark, de l'Espagne et du Royaume-Uni et un navire arrivait d'un port canadien (Nouvelle-Écosse). Ces navires arrivaient des régions A (44 %), G (35 %), B (5 %) et C (1 %) de la FAO. Il n'a pas été possible de déterminer la provenance de 17 % des navires. Les volumes d'eaux de lest échangés dans le chenal Laurentien ont été rapportés pour seulement 12 des 49 navires et étaient de 2444 t par navire en moyenne (variant de 238 à 9594 t). Neuf navires étaient des vraquiers (en moyenne, 3133 t d'eaux de lest ont été échangées par navire), deux étaient

(427 tonnes). Nine ships originated from United States (mainly from FAO Region A), two from Europe (FAO Region B) and one from Nova Scotia. The total ballast water capacity and total ballast water carried on arrival by the 42 foreign vessels in cargo and in ballast were estimated using the regressions developed by Harvey et al. (1999) and Bourgeois et al. (2001) at 583 908 tonnes and 238 855 tonnes, respectively (Table 6).

des cargos généraux (354 t/navire) et un était un navire-citerne (427 t). Neuf navires arrivaient des États-Unis (principalement de la Région A de la FAO), deux arrivaient de l'Europe (Région B) et un arrivait de la Nouvelle-Écosse. La capacité totale en eaux de lest et le volume total d'eaux de lest transporté à l'arrivée par les 42 navires chargés et sur lest en provenance de l'étranger ont été estimés à 583 908 t et à 238 855 t respectivement (Tableau 6) en utilisant les régressions établies par Harvey *et al.* (1999) et par Bourgeois *et al.* (2001).

In summary, based on available data, the Laurentian Channel was not frequently used for BWE and a small volume of ballast water was discharged in the ABWEZ. In 2000, 49 vessels, representing 2% (49/1948) of the total number of vessels allowed to use this area for exchange, declared having performed exchanges in the ABWEZ. The majority of ballast water released into this area came from the Northwest Atlantic (FAO Region A). However, since there is currently no ballast water regulation and control, this number may be underestimated. The 66% of missing vessels in the ECAREG database mentioned earlier is a good example of this potential underestimation.

En résumé, en se basant sur les données disponibles, le chenal Laurentien n'a pas été fréquemment utilisé comme ZAEEL, et un petit volume d'eaux de lest y a été déversé. En 2000, 49 navires représentant 2 % (49/1948) du nombre total de navires autorisés à utiliser cette zone pour l'échange ont déclaré y avoir échangé des eaux de lest. La plus grande partie des eaux de lest déversées dans cette zone provenait de l'Atlantique nord-ouest (Région A de la FAO). Toutefois, puisqu'il n'y a actuellement pas de réglementation et de contrôle des eaux de lest, ce nombre peut être sous-estimé. Les 66 % de navires manquants dans la base de données ECAREG précédemment mentionnée sont un bon exemple de cette sous-estimation possible.

The use of the Laurentian Channel as an ABWEZ in 2002

L'utilisation du chenal Laurentien comme ZAEEL en 2002

The Atlantic Region Ballast Water Committee expressed concerns at the Canadian Marine Advisory Committee (CMAC) and at various meetings in USA (e.g. NEANS Panel) regarding the

Le Comité sur les eaux de lest de la région atlantique a fait part de ses préoccupations au Comité consultatif maritime canadien (CCMC) ainsi qu'aux participants de diverses réunions

USCG policy to approve requests from ships to exchange ballast waters in the Laurentian Channel. As a result, in 2002, the USCG decided to abandon their policy of issuing letters of approval by the captain of the port and approving vessels to exchange their ballast water in the Laurentian Channel.

tenues aux États-Unis (p. ex. NEANS Panel) au sujet de la politique de la USCG concernant l'approbation des requêtes d'échange des eaux de lest dans le chenal Laurentien. En 2002, la USCG a par conséquent décidé d'abandonner sa politique qui autorisait les capitaines des ports à émettre des lettres permettant aux navires d'échanger leurs eaux de lest dans le chenal Laurentien.

As a result, the numbers of vessels that used the Laurentian Channel as an ABWEZ decreased in 2002. Based on the data from that year (INNAV database), 3325 foreign vessels bound to Atlantic Canada, Quebec and Ontario submitted a ballast water reporting form to Transport Canada. From that number, 950 vessels (28.6%) were bound to the St. Lawrence and Great Lakes ports retained in the present assessment. In 2002, five ships declared to have performed ballast water exchanges in the Laurentian Channel, for a total volume of 56 761 m^3, all coming from the east coast of US (Table 7).

À la suite de cette décision, le nombre de navires utilisant le chenal Laurentien comme ZAEEL a diminué en 2002. Les données de cette année (base de données INNAV) indiquent que 3325 navires en provenance de l'étranger à destination du Canada atlantique, du Québec et de l'Ontario ont soumis un rapport sur les eaux de lest à Transports Canada. De ce nombre, 950 navires (28,6 %) se dirigeaient vers des ports du Saint-Laurent et des Grands Lacs retenus dans la présente évaluation. En 2002, cinq navires en provenance de la côte est des États-Unis ont déclaré avoir échangé un volume total de 56 761 m^3 d'eaux de lest dans le chenal Laurentien (Tableau 7).

Additional concerns related to the use of the ABWEZ

Autres préoccupations relatives à l'utilisation du chenal Laurentien comme ZAEEL

One concern about ballast water exchange in the Laurentian Channel is that some vessels may not completely exchange ballast water in this area due to time constraints. Carver and Mallet (2004) noted in their analysis that a full ballast water exchange (sequential or empty-refill method) takes approximately 18 h to 36 h. At a typical speed of 13 knots, a ship covers 234

Une des préoccupations relatives à l'échange des eaux de lest dans le chenal Laurentien est que certains navires n'ont peut-être pas le temps de compléter leur échange dans cette zone. Carver et Mallet (2004) mentionnent qu'un échange complet des eaux de lest (séquentiel ou méthode vidange-remplissage) prend environ de 18 h à 36 h. À une vitesse

nautical miles (about 400 km) during this operation. The flow-through method of ballast water exchange which involves flushing the tank with the equivalent of three times its volume (300%) requires approximately 36 h of travel time. For comparison, we calculated the exchange transects (cruise tracks of the vessels between the beginning and ending of the reported mid-ocean exchange) from data in Harvey et al. (1999). We found that cruise tracks averaged 970.3 ± 741.4 km (132-3456 km) with a median of 732.9 km which is much higher than the estimate given by Carver and Mallet (2004). However, exchange transects calculated by Levings et al. (2004) averaged about 400 km long. Since that the ABWEZ is about 400 km long, some vessels may not have sufficient time to complete their exchange and may discharge unexchanged ballast water in arrival ports or else exchange outside of the prescribed zone.

normale de 13 nœuds, un navire franchit 234 milles nautiques (environ 400 km) au cours de cette opération. La méthode d'échange par circulation continue, qui consiste à pomper dans le réservoir l'équivalent de trois fois son volume (300 %), nécessite environ 36 h. À titre de comparaison, nous avons calculé les transects d'échange (trajets des navires entre le début et la fin de l'échange océanique déclaré) à partir des données de Harvey *et al.* (1999). Nous avons trouvé que les transects étaient en moyenne de 970,3 ± 741,4 km (de 132 à 3456 km) avec une médiane de 732,9 km, ce qui est beaucoup plus élevé que l'estimation faite par Carver et Mallet (2004). Cependant, les transects d'échange calculés par Levings *et al.* (2004) avaient une longueur moyenne d'environ 400 km. Puisque la ZAEEL a environ 400 km de longueur, certains navires n'ont peut-être pas assez de temps pour terminer leur échange et peuvent déverser des eaux de lest non échangées dans les ports d'arrivée ou faire l'échange à l'extérieur de la zone prescrite.

One additional concern about ballast water exchange in the GSL is the high frequency of international traffic entering the GSL through the Strait of Belle-Isle during the ice-free season. If mid-ocean ballast water exchanges are not possible, these vessels cannot use the ABWEZ in the Gulf without a significant deviation of their route and may represent an additional risk if they exchange or discharge ballast waters in other areas in the Gulf.

Une autre préoccupation relative à l'échange des eaux de lest dans cette zone est le grand nombre de navires en provenance de l'étranger qui entrent dans le GSL par le détroit de Belle Isle pendant la période de l'année où les eaux sont libres de glace. Si l'échange des eaux de lest n'est pas possible en zone océanique, ces navires ne peuvent utiliser la ZAEEL du golfe sans dévier significativement de leur route et peuvent représenter un risque supplémentaire s'ils échangent ou déversent leurs eaux de lest dans d'autres régions du golfe.

Risks of introduction of non-indigenous species

Biodiversity and species richness in ballast tanks of incoming foreign vessels

Several studies reported high densities and taxonomic diversity of live phytoplankton and zooplankton in the ballast water of ships entering the GSL (Carver and Mallet 2001, 2002, 2004; Gosselin et al. 1995, Harvey et al. 1999; Locke 1991, 1993; Subba Rao 1994; Simard et al. 2002). All studies found species in the ballast water which are not currently present in the Gulf. Encysted life forms were also found in the sediments of ballast water tanks. Some relevant results of these studies are presented below.

Carver and Mallet (2002) demonstrated the potential of ballast-carrying vessels of transporting high numbers of phytoplankton and zooplankton taxa. During this survey, they found 424 phytoplankton taxa and 79 zooplankton taxa. In the case of phytoplankton, a high proportion of taxa (25%) belonging to this group were non-indigenous, five of which were classified as toxic non-indigenous phytoplankton and another nine were considered as potentially toxic/harmful taxa. The lack of information on zooplankton taxa may have underestimated the risks posed by this group. Carver and Mallet (2001) reported 226 phytoplankton taxa from ballast water samples from various ships, 14 (6%) of which were classified as non-indigenous. None of these were considered toxic or harmful although two were listed as potential candidates. A

Risques d'introduction d'espèces non indigènes

La biodiversité et la richesse spécifique dans les ballasts des navires en provenance de l'étranger

Plusieurs études ont montré la forte densité et la diversité taxinomique du phytoplancton et du zooplancton présents dans les eaux de lest des navires entrant dans le GSL (Carver et Mallet 2001, 2002, 2004; Gosselin *et al.* 1995; Harvey *et al.* 1999; Locke 1991, 1993; Subba Rao 1994; Simard *et al.* 2002). Toutes ces études ont permis de trouver dans les ballasts des espèces qui ne sont normalement pas présentes dans le golfe. On a aussi trouvé des formes de vie enkystées dans les sédiments des ballasts. Certains des résultats pertinents de ces études sont présentés ci-dessous.

Carver et Mallet (2002) ont montré que les navires sur lest peuvent transporter de nombreux taxons de phytoplancton et de zooplancton. Ils ont recensé 424 taxons phytoplanctoniques et 79 taxons zooplanctoniques. Une forte proportion des taxons phytoplanctoniques (25 %) n'étaient pas indigènes. Parmi ceux-ci, cinq taxons étaient considérés comme toxiques et neuf étaient considérés comme potentiellement toxiques et/ou nuisibles. Les risques que représentent les taxons zooplanctoniques ont pu être sous-estimés en raison du manque d'information à leur sujet. Carver et Mallet (2001) ont recensé 226 taxons phytoplanctoniques dans les échantillons d'eaux de lest de divers navires, parmi lesquels 14 (6 %) étaient considérés comme non indigènes. Aucun de ces taxons n'était considéré comme toxique ou nuisible bien que

total of 44 zooplankton taxa were observed in samples from 20 of the 34 ships. One taxa was considered non-indigenous, although many taxa were larval and juvenile stages which could not be fully identified. Gosselin et al. (1995) found that 60% of the ballast water tanks surveyed in the Magdalen Islands carried toxic algae in the ballast water and identified this result as representing significant health risks to this area. Harvey et al. (1999) found that 60% and 57% of the phytoplankton and zooplankton species found in ballast waters of foreign ships entering the Estuary and Gulf of St. Lawrence (EGSL) were non-indigenous. They suggested that ballast water practices in the EGSL represent a potentially important vector for the accidental introduction of non-indigenous species. However, the majority of non-indigenous species encountered were found in only one or two ships and at very low densities. Of the 19 toxic/harmful taxa, only one very rare species was non-endemic to Canadian waters. The authors concluded that risks for the ballast water-mediated introduction of non-indigenous marine species into the EGSL do not appear to be as high as in other areas of the world with documented introductions related to ballast water transport. However, they mentioned that some areas of the GSL present significant risks for such introductions, particularly in the southern Gulf area (Chaleur Bay and Northumberland Strait) where warmer conditions prevail in summer and fall. Subba Rao et al. (1994) analyzed ballast water from 86 foreign vessels that visited the Great Lakes and upper St. Lawrence River. A total of 102 taxa belonging to seven groups were recognised, including 13 non-indigenous

deux étaient sur la liste des candidats possibles. Au total, 44 taxons zooplanctoniques ont été observés dans les échantillons de 20 des 34 navires. Un taxon était considéré comme non indigène, bien que de nombreux taxons étaient à des stades larvaires et juvéniles qui n'ont pu être identifiés à l'espèce. Gosselin *et al.* (1995) ont trouvé des algues toxiques dans l'eau de 60 % des ballasts échantillonnés aux îles de la Madeleine, ce qui à leur avis représente des risques importants pour la santé humaine dans cette région. Harvey *et al.* (1999) ont trouvé que 60 % des espèces de phytoplancton et 57 % des espèces de zooplancton présentes dans les eaux de lest des navires en provenance de l'étranger et entrant dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (EGSL) étaient non indigènes. Ils croient que l'échange des eaux de lest dans l'EGSL est possiblement un important vecteur d'introduction accidentelle des espèces non indigènes. La majorité des espèces non indigènes observées ont toutefois été trouvées dans un ou deux navires seulement et en très faible densité. Des 19 taxons toxiques et/ou nuisibles, une seule espèce très rare n'était pas indigène aux eaux canadiennes. Les auteurs concluent que les risques d'introduction d'espèces marines non indigènes dans l'EGSL par les eaux de lest ne semblent pas aussi élevés que dans d'autres régions du monde où de telles introductions sont documentées. Ils mentionnent toutefois que certaines régions du GSL sont particulièrement vulnérables à ces introductions, notamment le sud du golfe (baie des Chaleurs et détroit de Northumberland) où les conditions sont plus chaudes en été et à l'automne. Subba Rao *et al.*

taxa to Canadian Atlantic waters and 21 indigenous but potentially toxic/harmful taxa. Most of the algae were in good condition and contained chloroplasts. Cultures were also established from live samples. They found 21 potentially bloom-forming, red-tide, and/or toxigenic algal species in these ballast waters.

(1994) ont analysé les eaux de lest de 86 navires en provenance de l'étranger qui ont transité par les Grands Lacs et l'amont du fleuve Saint-Laurent. Au total, 102 taxons appartenant à sept groupes ont été identifiés, y compris 13 taxons non indigènes aux eaux atlantiques canadiennes et 21 taxons indigènes, mais potentiellement toxiques et/ou nuisibles. La plupart des algues étaient en bonne condition et contenaient des chloroplastes. Des cultures ont pu être faites à partir d'échantillons vivants. Les auteurs ont trouvé dans ces eaux de lest 21 espèces d'algues qui peuvent proliférer, causer des marées rouges et/ou être toxicogènes.

Number of non-indigenous species introduced in the Gulf of St. Lawrence

Given the low sampling effort and spatial coverage, the number of non-indigenous species introduced in the Canadian marine and estuarine environments (including the Gulf of St. Lawrence) is uncertain. Based on unpublished data compiled from various sources (A. Locke – DFO Moncton and N. Simard – DFO Mont-Joli), the total reported number of non-indigenous species is 26 (see Table 2 in de Lafontaine and Simard 2004) and shipping (ballast and hull fouling) would account for 25% (6 species). Of these, 2 species (*Codium fragile* ssp *tomentosoides* and *Styela clava*) may have been introduced into the Gulf via ballast water. *Caprella mutica* (B. Sainte-Marie and M. Fréchette – DFO Mont-Joli), *Botrylloides violaceus* and *Ciona intestinalis* (N. MacNair – PEI Department of Agriculture, Fisheries and Aquaculture) are additional non-

Nombre d'espèces non indigènes introduites dans le golfe du Saint-Laurent

En raison de l'effort d'échantillonnage faible et de la couverture spatiale restreinte, le nombre d'espèces non indigènes introduites dans les environnements marins et estuariens canadiens (y compris le golfe du Saint-Laurent) est incertain. Selon des données non publiées compilées par diverses sources (A. Locke, MPO Moncton et N. Simard, MPO Mont-Joli), le nombre total d'espèces non indigènes rapporté est de 26 (voir Tableau 2 dans de Lafontaine et Simard 2004) et 25 % (6) de ces espèces auraient été introduites par les navires (lest et salissures de la coque). Parmi celles-ci, deux espèces (*Codium fragile* ssp *tomentosoides* et *Styela clava*) ont pu être introduites dans le golfe par les eaux de lest. *Caprella mutica* (B. Sainte-Marie et M. Fréchette, MPO Mont-Joli), *Botrylloides violaceus* et *Ciona intestinalis* (N. MacNair, PEI

indigenous species (not compiled in the above list) recently observed in the Gulf of St. Lawrence. However, there is yet no information to determine whether or not these introductions are related to ballast water discharges in the Laurentian Channel.

Department of Agriculture, Fisheries and Aquaculture) sont d'autres espèces non indigènes (non compilées dans la liste ci-dessus) récemment observées dans le golfe du Saint-Laurent. Toutefois, aucune information ne permet de déterminer si ces introductions sont liées au déversement d'eaux de lest dans le chenal Laurentien.

Potential invaders

Potentially invasive species (*Balanus amphitrite*, *Didemnum vexillum*, *Didemnum* sp., aff. *D. lahillei*, *Hemigrapsus sanguineus*, *Grateloupia doryphora*, *Rapana venosa*), pathogenic organisms (*Anguillicola crassus*, *Bonamia ostreae*, *Haplosporidium nelsoni*, *Perkinsus marinus*, *Parmoeba paeniciosa*) and toxic/harmful phytoplankton taxa (*Aureococcus anophragefferens*, *Chatonella verruculosa*, *Heterosigma akashiwo*, *Karlodinium micrum*, *Pfiesteria shumwayae*, *Pfiesteria piscicida*) are present in US inshore waters (Burkholder et al. 1995; Carver and Mallet 2002, 2004; Glasgow et al. 2001). The introduction of these species in the Gulf of St. Lawrence may have important ecological consequences and significant implications for Canadian fisheries and aquaculture activities.

Envahisseurs potentiels

Les eaux intérieures des États-Unis abritent des espèces envahissantes potentielles (*Balanus amphitrite*, *Didemnum vexillum*, *Didemnum* sp., aff. *D. lahillei*, *Hemigrapsus sanguineus*, *Grateloupia doryphora*, *Rapana venosa*), des organismes pathogènes (*Anguillicola crassus*, *Bonamia ostreae*, *Haplosporidium nelsoni*, *Perkinsus marinus*, *Parmoeba paeniciosa*) et des taxons de phytoplancton toxiques et/ou nuisibles (*Aureococcus anophragefferens*, *Chatonella verruculosa*, *Heterosigma akashiwo*, *Karlodinium micrum*, *Pfiesteria shumwayae*, *Pfiesteria piscicida*) (Burkholder *et al.* 1995; Carver et Mallet 2002, 2004; Glasgow *et al.* 2001). L'introduction de ces espèces dans le golfe du Saint-Laurent pourrait avoir des conséquences écologiques importantes et des répercussions considérables sur les activités de pêche et d'aquaculture canadiennes.

Gollasch (2002) and Olenin et al. (2002) have published a list of existing inventories and databases on aquatic alien species established in the Black, North, Baltic and Mediterranean Seas, which are the principal ballast water source areas (Regions B and C) for the eastern coast of Canada. Although it is

Gollasch (2002) et Olenin *et al.* (2002) ont publié une liste des inventaires effectués et des bases de données existantes sur les espèces aquatiques non indigènes établies dans les mers Noire, du Nord, Baltique et Méditerranée, qui sont les principales régions sources (régions B et C) des

difficult to predict which organisms will survive and establish in new habitats, some of these non-indigenous species certainly constitute potential invaders to coastal areas in Atlantic Canada.

eaux de lest déversées sur la côte est du Canada. Bien qu'il soit difficile de prédire quels organismes survivraient et s'établiraient dans de nouveaux habitats, certaines de ces espèces non indigènes sont certainement des envahisseuses potentielles des régions côtières du Canada atlantique.

Risk assessment model for the Estuary and Gulf of St. Lawrence

RNT Consulting (2002) developed a mathematical model to evaluate the risk from discharge and exchange of ballast water in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. The risk was measured in terms of quantity of alien species introduced (expressed as a fraction of the quantity present in the ballast at origin) into various parts of the Gulf, including the Laurentian Channel. Based on vessel traffic and voyage length, the overall risk to the Gulf and Estuary, including the Laurentian Channel, was estimated as 25.3%. That is, the quantity of alien species introduced into the Gulf and Estuary is estimated as 25.3% of the quantity of alien species contained in the ballast of the ships from all FAO regions at their origin. The relative risk to the Laurentian Channel was estimated as 0.5% of the quantity of alien species introduced in the Gulf and Estuary as a whole. The model showed that ships coming from the Northwest Atlantic Coast (FAO Region A) represent the greatest potential for introductions, followed by FAO Region B. They concluded that the discharges to the Laurentian Channel represent a negligible risk as compared to discharges done in other areas of the St. Lawrence.

Modèle d'évaluation du risque pour l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

RNT Consulting (2002) a élaboré un modèle mathématique pour évaluer le risque que représentent le rejet et l'échange des eaux de lest dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Le risque a été mesuré en fonction de la quantité d'espèces non indigènes introduites (exprimée en fraction de la quantité présente dans le lest à l'origine) dans diverses parties du golfe, y compris le chenal Laurentien. En se fondant sur le trafic maritime et sur la longueur des voyages, le risque total a été évalué à 25,3 % dans l'estuaire et le golfe, incluant le chenal Laurentien. En d'autres termes, la quantité d'espèces non indigènes introduites dans l'estuaire et le golfe est estimée à 25,3 % de la quantité d'espèces non indigènes contenues dans les ballasts des navires de toutes les régions de la FAO à l'origine. Le risque relatif pour le chenal Laurentien a été estimé à 0,5 % de la quantité d'espèces non indigènes introduites dans l'estuaire et le golfe au total. Le modèle montre que les navires arrivant de la côte atlantique nord-ouest (Région A) représentent le plus grand potentiel d'introduction et que ceux arrivant de la Région B viennent en second. Les auteurs concluent que les déversements dans le chenal Laurentien représentent un risque négligeable en comparaison de ceux

However, this model did not conduct uncertainty analyses and it is based in part on assumptions rather than empirical data. In addition, the results of the model are expressed in terms of risks from exchange of ballast water in the Laurentian Channel relative to coastal ports but do not quantify these risks in absolute terms and do not prove that this risk is negligible.

Environmental conditions in the Gulf of St. Lawrence

The GSL is a highly stratified 226 000 km^2 semi-enclosed sea (Dickie and Trites 1983). It has two connections with the North Atlantic Ocean: Cabot Strait with a maximum depth and width of 480 m and 104 km respectively, and the Strait of Belle Isle, about 60 m deep and less than 15 km wide. A major topographic feature of the GSL is the Laurentian Channel that extends over 1300 km from the deep ocean, beyond the Scotian Shelf, up to the head of the Lower St. Lawrence Estuary (LSE), near Tadoussac (Koutitonsky and Bugden 1991; Dickie and Trites 1983). This main channel reaches a maximum depth of 535 m with an average of 420 m. Two secondary channels form side branches of the Laurentian Channel within the Gulf: the Esquiman Channel and the Anticosti Channel, with maximum depths of 345 and 296 m respectively (Loring and Nota 1973). These main channels allow a deep inflow of Atlantic and Labrador shelf waters to intrude at depth and circulate towards the head region of the LSE (de Lafontaine et al. 1991). Freshwater runoff from the St. Lawrence

effectués dans d'autres régions du Saint-Laurent.

Ce modèle n'inclut toutefois pas d'analyses d'incertitude et est en partie fondé sur des hypothèses plutôt que sur des données empiriques. De plus, il exprime les risques que représente l'échange des eaux de lest dans le chenal Laurentien par rapport aux risques que représente l'échange dans les ports côtiers, mais il ne quantifie pas ces risques en termes absolus et ne prouve pas qu'ils sont négligeables.

Conditions environnementales dans le golfe du Saint-Laurent

Le GSL est une mer semi-fermée grandement stratifiée de 226 000 km^2 (Dickie et Trites 1983). Il a deux liens avec l'océan Atlantique Nord : le détroit de Cabot, d'une profondeur et d'une largeur maximales de 480 m et de 104 km respectivement, et le détroit de Belle Isle, d'une profondeur d'environ 60 m et d'une largeur de moins de 15 km. Une des importantes caractéristiques topographiques du GSL est le chenal Laurentien qui, depuis l'océan Atlantique, longe le plateau néo-écossais et s'étend sur plus de 1300 km jusqu'à la partie amont de l'estuaire maritime du Saint-Laurent (EMSL) près de Tadoussac (Koutitonsky et Bugden 1991; Dickie et Trites 1983). Ce chenal principal a une profondeur maximale de 535 m et une profondeur moyenne de 420 m. Dans le golfe, il se ramifie en deux chenaux secondaires : le chenal Esquiman et le chenal Anticosti, dont les profondeurs maximales respectives sont de 345 m et de 296 m (Loring et Nota 1973). Ces chenaux permettent l'entrée des eaux profondes des plateaux de l'Atlantique et du Labrador

and Great Lakes drainage basin partly mixes with oceanic waters, flows through the general cyclonic circulation (El-Sabh 1979; Ingram 1979), and exits through Cabot Strait (Saucier et al. 2003) (Figure 10). As a confluence zone, the GSL has large spatial and temporal variations in hydrographic properties (Han et al. 1999). The sea ice cover, the water mass properties, and the circulation in the GSL exhibit large interannual variability (Bugden 1991; Gilbert and Pettigrew 1997; Petrie et al. 1996; Saucier et al. 2003). The water column is highly stratified (Koutitonsky and Bugden 1991; Lauzier and Bailey 1957) and the heat, salt and momentum distributions of the surface 200 m exhibit a strong seasonal cycle (Saucier et al. 2003). The GSL is mostly ice covered in winter and temperatures below 1°C prevail throughout the Gulf to a depth of more than 120 m during that time of the year (Gilbert and Pettigrew 1997). In addition, a cold intermediate layer (CIL) with temperatures of -1.5 to 3°C persists throughout the year at depths ranging from 20-30 m to 140 m. The presence of this layer in the GSL originates from the intrusion of the cold Labrador Current through the Strait of Belle-Isle and from the local cooling of surface waters during the winter (Gilbert and Pettigrew 1997; Saucier et al. 2003).

dans le Saint-Laurent et leur circulation vers l'amont de l'EMSL (de Lafontaine *et al.* 1991). L'eau douce qui s'écoule du bassin hydrographique du Saint-Laurent et des Grands Lacs se mélange partiellement aux eaux océaniques, s'écoule selon la circulation cyclonique générale (El-Sabh 1979; Ingram 1979) et sort par le détroit de Cabot (Saucier *et al.* 2003) (Figure 10). Le GSL étant une zone de confluence, ses propriétés hydrographiques subissent de grandes variations spatiales et temporelles (Han *et al.* 1999). La couverture de glace, les propriétés des masses d'eau et la circulation varient grandement d'une année à l'autre (Bugden 1991; Gilbert et Pettigrew 1997; Petrie *et al.* 1996; Saucier *et al.* 2003). La colonne d'eau est grandement stratifiée (Koutitonsky et Bugden 1991; Lauzier et Bailey 1957) et les distributions de la chaleur, du sel et de la quantité de mouvement dans les 200 m de surface subissent un important cycle saisonnier (Saucier *et al.* 2003). L'hiver, le GSL est en grande partie couvert de glace et les températures sont inférieures à 1 °C à une profondeur de plus de 120 m (Gilbert et Pettigrew 1997). De plus, tout au long de l'année, on y trouve une couche intermédiaire froide (CIF) à des profondeurs de 20-30 m à 140 m où les températures varient de -1,5 °C à 3 °C. La présence de cette couche dans le GSL s'explique par la pénétration du courant froid du Labrador dans le détroit de Belle Isle et par le refroidissement local des eaux de surface au cours de l'hiver (Gilbert et Pettigrew 1997; Saucier *et al.* 2003).

In terms of salinity, the discharge of fresh ballast waters in the Laurentian Channel represents a low risk since the probability of colonization of non-

Le déversement d'eaux de lest douces dans le chenal Laurentien représente un risque faible, car la probabilité de colonisation par des espèces non

indigenous species based on the compatibility of salinity in donor and recipient regions is relatively low (Carlton 1985). In terms of temperature, the risk of discharging ballast waters in the ABWEZ is temporally and spatially variable. The majority of incoming foreign ships originate from areas mainly located in the northeast, northwest, and western central Atlantic and the Mediterranean Sea, particularly around the North and Baltic Seas and along the eastern and southern coasts of the United States. These areas usually exhibit warmer environmental conditions than those in the Gulf of St. Lawrence, particularly in the northern Gulf. For example, surface temperatures in the North Sea range from 9 to 12 °C on average and usually do not fall below 3 °C during winter (Becker and Wegner 1993). In addition, inoculated zooplankton species that usually exhibit daily vertical migrations would be exposed to cold temperatures of the CIL in the GSL. High mortality rates could then result from thermal stress. Based on water temperature at 3 meters depth, as measured onboard the Cicero which makes regular voyages between Montreal and St. John's, Newfoundland, the mean surface temperature in the ABWEZ is generally below 3 to 4 °C between December and May (Figure 11). As a result, risks associated with ballast water exchanges in the GSL would be relatively low during this period. However, some areas of the GSL are characterized by warm surface conditions in summer and early fall. In the Laurentian Channel southeast of Anticosti Island, the time of the year during which surface temperature exceeds 10 °C usually extends from June to October (Figure 11). Such conditions could be suitable for the

indigènes est assez faible en raison du peu de compatibilité des salinités des régions donneuses et réceptrices (Carlton 1985). Quant à la température, le risque lié au déversement d'eaux de lest dans cette ZAEEL varie en fonction du temps et de l'espace. La majorité des navires arrivent de régions étrangères principalement situées dans l'Atlantique nord-est, nord-ouest et centre-ouest, et dans la Méditerranée, particulièrement des mers du Nord et Baltique et des côtes est et sud des États-Unis. Les conditions environnementales de ces régions sont généralement plus chaudes que celles du golfe du Saint-Laurent, notamment du nord du golfe. Par exemple, les températures de surface dans la mer du Nord varient entre 9 °C et 12 °C en moyenne et ne descendent généralement pas sous 3 °C l'hiver (Becker et Wegner 1993). De plus, les espèces de zooplancton introduites qui effectuent généralement des migrations verticales quotidiennes seraient exposées aux basses températures de la CIF du GSL. Ce stress thermique pourrait entraîner un fort taux de mortalité. Des mesures de température de l'eau prises à 3 m de profondeur depuis le *Cicero*, qui effectue régulièrement des voyages entre Montréal et St. John's (T.-N.), ont montré que la température de surface moyenne dans cette ZAEEL est généralement inférieure à 3 °C ou 4 °C entre décembre et mai (Figure 11). Ainsi, les risques liés à l'échange des eaux de lest dans le GSL seraient assez faibles pendant cette période. Toutefois, dans certaines régions du GSL, la température de l'eau de surface est élevée en été et au début de l'automne. Dans le chenal Laurentien au sud-est de l'île d'Anticosti, les

survival of warm water species inoculated with ballast water discharges during this period. However, their long-term prognosis may be limited.

températures de surface dépassent généralement 10 °C entre juin et octobre (Figure 11). De telles conditions pourraient être propices à la survie d'espèces d'eau chaude introduites par les eaux de lest. Toutefois, leurs chances de survie à long terme pourraient être limitées.

Dispersion patterns of ballast water discharge into the Laurentian Channel

Dispersion des eaux de lest déversées dans le chenal Laurentien

The suitability of the Laurentian Channel as an ABWEZ was assessed by modelling the dispersion and fate of plankton inoculated with ballast water discharges to determine whether this practice poses any risk for the introduction of non-indigenous marine organisms in coastal areas of the GSL (Gilbert et al. 2004). A three-dimensional circulation and thermodynamics model for the GSL (Saucier et al. 2003) was used to simulate the seasonal dispersion and fate of plankton inoculated with ballast water discharges in the ABWEZ. Coastal areas at risks in the GSL were identified using three parameters derived from the simulations: (1) the total number of particles reaching coastal areas; (2) the minimum time required to reach coastal areas; and (3) the number of particles that are retained in the Gulf over a 90-day period.

La pertinence du chenal Laurentien comme ZAEEL a été évaluée en modélisant la dispersion et le sort du plancton introduit par le déversement des eaux de lest afin de déterminer si cette pratique présente un risque d'introduction d'organismes marins non indigènes dans les régions côtières du GSL (Gilbert *et al.* 2004). Un modèle tridimensionnel de circulation et de thermodynamique du GSL (Saucier *et al.* 2003) a été utilisé pour simuler la dispersion saisonnière et le sort du plancton introduit par les eaux de lest dans cette ZAEEL. Les régions côtières à risque dans le GSL ont été mises en évidence à l'aide de trois paramètres issus des simulations : 1) le nombre total de particules qui atteignent les régions côtières; 2) le temps minimal requis pour atteindre les régions côtières; 3) le nombre de particules retenues dans le golfe au cours d'une période de 90 jours.

All simulations of the dispersion of plankton were run by simultaneously releasing a predetermined number of particles over a given area limited to the upstream part of the ABWEZ. All particles were tracked by recording their position at the beginning of each day of simulation. Two-dimensional simulations

Toutes les simulations de dispersion du plancton ont été effectuées en libérant simultanément un nombre déterminé de particules dans une région donnée restreinte de la partie amont de la ZAEEL. La position de toutes les particules a été notée au début de chaque journée de simulation afin de

were run to follow the discharge and surface dispersion of phytoplankton. A total of 8 simulations over 90 days were run, each starting at the beginning of each month from April through November. No simulation was run for winter months because of ice conditions which affect surface transport, particularly at small scales. For the dispersion of zooplankton, three-dimensional simulations integrating vertical migrations were run. However, given the CPU requirements of these kinds of simulations, only 4 simulations were run (starting in April, June, August, and October) and lasted for only 60 days. For these simulations, the integration of daily vertical migrations was achieved by driving vertical movements of particles at dusk and dawn at a speed of 2 $cm \cdot s^{-1}$. Vertical migrations were forced down to 150 meters in the Laurentian Channel to allow particles to reach deep waters as usually observed, and to the bottom when water depths decreased to less than 150 meters.

suivre leur trajectoire. Des simulations bidimensionnelles ont été effectuées afin de suivre la libération et la dispersion du phytoplancton en surface. Au total, huit simulations successives de 90 jours ont été effectuées entre avril et novembre, chacune ayant commencé au début d'un mois. Aucune simulation n'a été faite pendant l'hiver en raison des glaces qui perturbent le transport de surface, notamment à petite échelle. Pour la dispersion du zooplancton, des simulations tridimensionnelles comportant des migrations verticales ont été effectuées. Toutefois, étant donné les exigences informatiques de telles simulations, seulement quatre simulations de 60 jours ont été effectuées (commencées en avril, en juin, en août et en octobre). Pour ces simulations, l'intégration des migrations verticales quotidiennes a été réalisée en faisant effectuer aux particules des déplacements verticaux à une vitesse de 2 $cm\,s^{-1}$ à la tombée du jour et à l'aube. Les migrations verticales ont été simulées jusqu'à 150 m de profondeur dans le chenal Laurentien pour permettre aux particules d'atteindre les eaux profondes, comme c'est généralement le cas, et jusqu'au fond aux endroits où la profondeur de l'eau est inférieure à 150 m.

Phytoplankton dispersion simulations showed that several coastal areas are at risk on a seasonal basis from phytoplankton inoculation in the Laurentian Channel, including the Magdalen Islands and southwest Newfoundland (summer and fall), northern Cape Breton Island (fall), and southern Anticosti Island (spring) (Figure 12). Some of these coastal areas (Magdalen Islands, Anticosti

Les simulations de dispersion du phytoplancton ont montré que plusieurs régions côtières sont exposées de façon saisonnière au risque d'introduction de phytoplancton dans le chenal Laurentien, y compris les îles de la Madeleine et le sud-ouest de Terre-Neuve (été et automne), le nord de l'île du Cap-Breton (automne) et le sud de l'île d'Anticosti (printemps) (Figure 12). Dans certaines de ces régions côtières

Island, Cape Breton Island) would be reached within 30 days by phytoplankton associated with discharged ballast waters (Figure 13). A significant downstream transport would occur in late spring/early summer, because of the spring freshet, and in fall as a result of predominant northwesterly winds, while a significant retention of surface phytoplankton within the Gulf would occur in spring and late summer (Figure 14). Three-dimensional dispersion simulations of zooplankton yielded further retention of particles in the Gulf as a result of the net inward transport of deep waters in the Laurentian Channel (Figure 15). Thus, inoculated zooplankton would be mainly retained within the Laurentian Channel and upstream coastal areas (Gaspé Peninsula, Anticosti Island) would be particularly at risk. Ultimately, inoculated zooplankton could be incorporated into the zooplankton dynamics of the Estuary and Gulf ecosystem. Gilbert et al. (2004) concluded that the ABWEZ southeast of Anticosti Island represents a risk from a Gulf perspective because of the significant retention of inoculated planktonic organisms within the Gulf and their subsequent dispersion towards coastal areas.

(îles de la Madeleine, île d'Anticosti et île du Cap-Breton), le phytoplancton atteindrait la côte dans les 30 jours suivant le déversement des eaux de lest (Figure 13). Il se produirait un important transport vers l'aval à la fin du printemps et au début de l'été en raison de la crue printanière et à l'automne en raison des vents dominants du nord-ouest, tandis qu'il se produirait une rétention importante du phytoplancton de surface dans le golfe au printemps et à la fin de l'été (Figure 14). Les simulations tridimensionnelles de dispersion du zooplancton ont aussi montré une rétention des particules dans le golfe en raison de l'entrée nette d'eaux profondes dans le chenal Laurentien (Figure 15). Ainsi, le zooplancton introduit serait principalement retenu dans le chenal Laurentien, et les régions côtières en amont (Gaspésie, île d'Anticosti) seraient particulièrement à risque. Finalement, le zooplancton introduit pourrait être incorporé dans la dynamique du zooplancton des écosystèmes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Gilbert *et al.* (2004) concluent que la ZAEEL au sud-est de l'île d'Anticosti représente un risque pour le golfe en raison de la rétention importante des organismes planctoniques introduits dans le golfe et de leur dispersion subséquente vers les régions côtières.

CONCLUSION

Based on the information provided above, some conclusions can be drawn regarding overall risks for introductions that are associated with the current use of the Laurentian Channel as an ABWEZ. Although the shipping industry does not appear to use the Laurentian Channel extensively as an ABWEZ, analyzed data indicated that a high number of vessels (1948), transporting 12.2 Mt of ballast waters, could potentially use this area to perform ballast water exchanges. The majority of ballast waters from all vessels originated from FAO Region B where environmental conditions can be similar to GSL, particularly during the summer. However, the vessels which have declared to have used the Laurentian Channel as ABWEZ originated principally from FAO Region A; the duration of trips from this region is generally shorter than for other FAO regions. Several studies showed that a diverse assemblage of live organisms (including non-indigenous taxa, toxic/harmful taxa and potential risk taxa) from all around the world are present in the ballast tanks of foreign vessels entering the Gulf of St. Lawrence. Simulations of the discharge of organisms in the Laurentian Channel showed that inoculated plankton is retained within the Gulf (higher retention of phytoplankton occurred in spring and late summer) and transported towards coastal areas. The model identified a few areas that are particularly at risk, depending on the season: the Magdelen Islands, southwestern Newfoundland, northern Cape Breton Island and southern Anticosti Island.

CONCLUSION

Les données présentées ci-dessus permettent de tirer certaines conclusions sur les risques généraux d'introduction liés à l'utilisation actuelle du chenal Laurentien comme ZAEEL. Bien que l'industrie maritime ne semble pas faire une utilisation intensive du chenal Laurentien comme ZAEEL, les données analysées montrent qu'un grand nombre de navires (1948) transportant 12,2 t d'eaux de lest ont transité dans cette zone en 2000 et auraient pu l'utiliser pour échanger leurs eaux de lest. La plus grande partie des eaux de lest de ces navires provenait de la Région B de la FAO où les conditions environnementales peuvent être semblables à celles du GSL, particulièrement l'été. Toutefois, les navires qui ont déclaré avoir utilisé le chenal Laurentien comme ZAEEL arrivaient principalement de la Région A de la FAO à partir de laquelle la durée du voyage jusqu'au Saint-Laurent est généralement plus courte qu'à partir d'autres régions de la FAO. Plusieurs études ont montré la présence d'un assemblage varié d'organismes vivants (comprenant des taxons non indigènes, des taxons toxiques et/ou nuisibles et des taxons qui représentent un risque potentiel) provenant de diverses régions du monde dans les ballasts des navires en provenance de l'étranger qui entrent dans le golfe du Saint-Laurent. Des simulations de déversement d'organismes dans le chenal Laurentien ont montré que le plancton introduit est retenu dans le golfe (il se produit une plus forte rétention de phytoplancton au printemps et à la fin de l'été) et est transporté vers les régions côtières. Le modèle a mis en évidence quelques

régions particulièrement à risque, selon la saison : les îles de la Madeleine, le sud-ouest de Terre-Neuve, le nord de l'île du Cap-Breton et le sud de l'île d'Anticosti.

As concluded by Pederson (2004), the present risk assessment identified the ABWEZ southeast of Anticosti Island as a potentially vulnerable area for ballast water-mediated introduction of non-indigenous species into the Estuary and Gulf of St. Lawrence and Atlantic provinces. This risk is considered to be generally lower in winter because of cold conditions of temperature that prevail throughout the Gulf during that time of the year. However, although the survival rate would be low, there are always a few highly opportunistic forms which can manage to adapt to cold conditions. On the other hand, many taxa may survive during the summer months but their long-term prognosis may be limited.

Comme l'a conclu Pederson (2004), la présente évaluation du risque a permis de déterminer que la ZAEEL au sud-est de l'île d'Anticosti représente un risque potentiel d'introduction d'espèces non indigènes dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent et les provinces atlantiques. Ce risque est considéré comme étant généralement plus faible l'hiver en raison des basses températures qui règnent alors dans le golfe. Cependant, bien que le taux de survie serait faible, quelques espèces très opportunistes pourraient possiblement s'adapter aux conditions froides. De plus, de nombreux taxons pourraient survivre pendant l'été, mais leurs chances de survie à long terme seraient probablement limitées.

RECOMMENDATIONS

Ballast Water Exchanges allowed in the Laurentian Channel based on a risk assessment

Given the high potential risk of Aquatic Invasive Species (AIS) introduced through ballast water to the Gulf of St. Lawrence, River and Estuary, where local ecological conditions have proven conducive to the establishment of many types of AIS, the use of the Laurentian Channel as an ABWEZ should be minimized as much as possible. Another consideration is that the exchange zone may not be large enough to accommodate complete ballast water exchange.

Under extraordinary circumstances, mid-ocean exchange or the use of an approved ABWEZ by coastal traffic may not be possible.

Only under these extraordinary circumstances, we recommend allowing ballast water exchange in the Laurentian Channel under the following conditions:

- if the ship is transiting the Laurentian Channel between December 1 and May 1; or
- if the ship is carrying freshwater ballast.

Ships that exchange ballast under the above conditions represent a lower ecological risk to the Laurentian Channel. A decision-support system would be needed to control ballast water

RECOMMANDATIONS

Autorisation d'échanger les eaux de lest dans le chenal Laurentien basée sur une évaluation du risque

En raison du risque potentiel élevé d'introduction d'espèces aquatiques envahissantes (EAE) par les eaux de lest dans le fleuve Saint-Laurent et dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, où des conditions écologiques locales se sont avérées propices à l'établissement de nombreuses EAE, l'utilisation du chenal Laurentien comme ZAEEL doit être limitée le plus possible. Un autre facteur à considérer est que la zone d'échange n'est peut-être pas assez grande pour permettre l'échange complet des eaux de lest.

Dans des circonstances exceptionnelles, il est possible que les navires ne puissent effectuer leur échange en zone océanique (en haute mer) ou que les navires côtiers ne puissent effectuer leur échange dans une ZAEEL approuvée.

Dans ces cas exceptionnels seulement, nous recommandons de permettre l'échange des eaux de lest dans le chenal Laurentien dans les conditions suivantes :

- si le navire transite par le chenal Laurentien entre le 1er décembre et le 1er mai; ou
- si le navire est lesté d'eau douce.

Les navires qui échangent leurs eaux de lest dans ces conditions représentent un risque écologique moindre pour le chenal Laurentien. Un système d'aide à la prise de décision

exchanges between the months of May and December. In the near future, a full set of criteria for such a decision-support system must be developed.

Considering the risk posed by ballast water discharge, exchange in the high seas (mid-ocean exchange) represents the lower ecological risk. Ballast water exchange in the Laurentian Channel represents a relatively higher risk, while ballast water exchange in Canadian ports represents the highest ecological risk.

For ships transiting the Laurentian Channel bound for freshwater ports, if the density of the ballast is >1.025, there is no need to exchange ballast water in the Channel. There is a lower ecological risk posed by such salt water ballast to freshwater ports.

Belle Isle Strait

Transatlantic vessels entering the Gulf of St. Lawrence through the Belle Isle Strait during the ice-free season should be asked to exchange or discharge their ballast waters only in an identified and approved ABWEZ. More information is needed regarding the number and the origin of these vessels.

Research Needs Related to Ballast Water

A risk-based decision-support system must be developed to improve the management of ballast waters in

est cependant requis pour contrôler les échanges d'eaux de lest entre les mois de mai et de décembre. Les critères de ce système seront élaborés dans un avenir proche.

Compte tenu du risque lié au déversement des eaux de lest, les échanges océaniques (en haute mer) représentent le risque écologique le plus faible. Les échanges dans le chenal Laurentien représentent un risque relativement plus élevé et les échanges dans des ports canadiens représentent le risque écologique le plus élevé.

Si les navires qui transitent dans le chenal Laurentien à destination de ports en eau douce ont un lest d'une densité supérieure à 1,025 (c.-à-d. sont lestés d'eau salée), l'échange des eaux de lest dans le chenal n'est pas requis puisque l'eau salée représente un risque écologique faible pour les ports en eau douce.

Le détroit de Belle Isle

Les navires transatlantiques qui entrent dans le golfe du Saint-Laurent par le détroit de Belle Isle pendant la période de l'année où les eaux sont libres de glace devraient être tenus d'échanger ou de déverser leurs eaux de lest uniquement dans une ZAEEL désignée et approuvée. Il faut obtenir plus d'information concernant le nombre et la provenance de ces navires.

Besoins en recherche sur les eaux de lest

Pour améliorer la gestion des eaux de lest en eaux canadiennes, il faudra élaborer un système d'aide à la prise de

Canadian waters. Standards/criteria for such decision-support systems must also be developed.

décision axé sur l'évaluation du risque. Il faudra également formuler les normes ou critères d'un tel système.

Improvements of methods for surveying AIS on ships that have not performed mid-ocean exchange are needed to determine the relative risk from AIS in water compared to sediment as well as various types of ballast tanks. Improved survey methods and better assessment of risk would help managers decide if a ship should be sent to an ABWEZ.

Les méthodes de suivi des EAE sur les navires qui n'ont pas effectué d'échange océanique doivent être améliorées afin de déterminer et de comparer le risque lié aux EAE présentes dans l'eau, les sédiments et les divers types de ballasts. Des méthodes de suivi améliorées et une meilleure évaluation du risque aideraient les gestionnaires à décider s'il faut renvoyer un navire dans une ZAEEL pour qu'il effectue ses échanges.

Data are needed on the viability of discharged ballast water organisms in Canadian coastal waters. There are particular concerns about fish, invertebrates with direct development, algal cysts and fragments, and vascular plant seeds. Propagules from AIS are probably viable immediately after discharge. The survivorship of eggs, egg-carrying organisms and larvae is difficult to predict because there are no local data on this topic.

Il faut recueillir des données sur la viabilité des organismes rejetés avec les eaux de lest dans les eaux côtières canadiennes. Les poissons, les invertébrés à développement direct, les kystes et les fragments d'algues ainsi que les graines de plantes vasculaires sont un sujet de préoccupation particulier. Les propagules des EAE sont probablement viables immédiatement après le déversement. Il est difficile de prévoir la survie des œufs, des organismes porteurs d'œufs et des larves puisqu'il n'existe pas de données locales à ce sujet.

The concept of "red listed" ports is suggested as a method dealing with unexchanged ballast water from ports with particularly dangerous AIS. This concept needs to be further assessed for its applicability and efficacy in Canada.

Une liste rouge de « ports interdits » est proposée comme solution au problème des eaux de lest provenant de ports qui abritent des EAE particulièrement dangereuses. Il faut faire une évaluation plus approfondie de l'applicabilité et de l'efficacité de ce concept au Canada.

ACKNOWLEDGEMENTS

Special thanks are expressed to Michel Gilbert, Chris McKindsey and Hugh MacIsaac who reviewed this document and provided valuable comments and; Mike Balaban, Glen Herbert and Jean-François Pelletier who provided shipping traffic data.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Michel Gilbert, Chris McKindsey et Hugh MacIsaac qui ont revu ce document et ont formulé des commentaires très pertinents. Nous remercions également Mike Balaban, Glen Herbert et Jean-François Pelletier qui nous ont fourni les données sur le trafic maritime.

LITERATURE CITED / RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITÉES

Balaban, M. 2001. Vessel traffic / Vessel shipping patterns on the east Coast of Canada 2000 Shipping Season, Transport Canada Marine Safety Technical Report. 13 p.

Becker, G.A. and G. Wegner. 1993. North Sea surface temperature means 1981 to 1990. ICES Council meeting, Dublin (Eire). ICES-CM-1993/C:47. 24 p.

Bourgeois, M., M. Gilbert, et B. Cusson. 2001. Évolution du trafic maritime en provenance de l'étranger dans le Saint-Laurent de 1978 à 1996 et implications pour les risques d'introduction d'espèces aquatiques non indigènes. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2338: viii + 34 p.

Bugden, 1991. Changes in the temperature-salinity characteristics of the deeper waters of the Gulf of St. Lawrence over the past several decades. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 113: 139-147.

Burkholder, J.M., H.B. Glasgow and C.W. Hobbs. 1995. Distribution and environmental conditions for fish kills linked to a toxic ambush-predator dinoflagellate: distribution and environmental conditions. Mar. Ecol. Prog. Ser. 124: 43-61.

Carlton, J.T. 1985. Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. 23: 313-371.

Carlton, J.T. and J.B. Geller. 1993. Ecological roulette: The global transport of nonindigenous marine organisms. Science. 261(5117): 78-82.

Carlton, J.T., D.M. Reid, and H.C. van Leeuwen. 1995. Shipping study : The role of shipping in the introduction of nonindigenous aquatic organisms to the coastal waters of the United States (other than the Great Lakes) an analysis of control option. National Sea Grant College Program/Connecticut Sea Grant Project R/ES-6. Report no. CG-D-11-95. 213 p. (Appendices A-I (122 p.)).

Carlton, J. 2001. Introduced species in U.S. Coastal waters. Pew Charitable Trust, Washington, D.C.

Carver, C.E. and A.L. Mallet. 2001. A preliminary assessment of the risks of ballast water-mediated introduction of non-indigenous phytoplankton and zooplankton species into Nova Scotia waters. Mallet Research Services Ltd. Dartmouth, Nova Scotia. iv + 46 p.

Carver, C.E. and A.L. Mallet. 2002. An assessment of the risk of ballast water-mediated introduction of non-indigenous phytoplankton and zooplankton into Atlantic Canadian waters. Mallet Research Services Ltd. Dartmouth, Nova Scotia. vi + 91 p.

Carver, C.E. and A.L. Mallet. 2004. Investigating potential ballast water management strategies for ships travelling from Chesapeake Bay to ports in Nova Scotia. Mallet Research Services Ltd. Dartmouth, Nova Scotia. v + 62 p.

Chu, K.H., P.F. Tam, C.H. Fung and Q.C. Chen. 1997. A biological survey of ballast water in container ships entering Hong Kong. Hydrobiologia. 352(1-3): 201-206.

Chesapeake Bay Commission. 1995. The introduction of nonindigenous species to the Chesapeake Bay via ballast water. Strategies to decrease the risks of future introductions through ballast water management. US Geological Survey. Center for Aquatic Resource Studies. 30 p.

de Lafontaine, Y. and N. Simard. 2004. Alternate areas or Alternate methods? Lessons from the Gulf of St. Lawrence. *In* J. Pederson (Ed.). Ballast Water Exchange: Exploring the Feasibility of Alternate Ballast Water Exchange Zones in the North Atlantic. Report from a workshop, Oct 27-28, 2003, Halifax, Nova Scotia. MIT Sea Grant College Program pub. No. 04-2, Cambridge, MA. pp. 63-70.

de Lafontaine, Y., S. Demers and J. Runge. 1991. Pelagic food web interactions and productivity in the Gulf of St. Lawrence : a perspective. *In* J.-C. Therriault (Ed.), The Gulf of St. Lawrence : Small Ocean or Big Estuary ? Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci. 113: 99-123.

Dickie, L.M. and R.W. Trites. 1983. The gulf of St. Lawrence. *In* B.H. Ketchum (Ed.). Estuaries and Enclosed Seas, Ecosyst. World. 26: 403-425. Elsevier Sci. Pub., Amsterdam.

Dickman, M. and F. Zhang. 1999. Mid-ocean exchange of container vessel ballast water. 2: Effects of vessel type in the transport of diatoms and dinoflagellates from Manzanillo, Mexico, to Hong Kong, China. Marine Ecology Progress Series. 176: 253-262.

Drake, L A., G.M. Ruiz, B.S. Galil, T.L. Mullady, D.O. Friedmann and F.C. Dobbs. 2002. Microbial ecology of ballast water during a transoceanic voyage and the effects of open-ocean exchange. Marine Ecology Progress Series. 233: 13-20.

El-Sabh, M. 1979. The lower St. Lawrence estuary as a physical oceanographic system. Naturaliste Can. 106 (1): 55-73.

Galbraith, P.S. 2005. Water temperature anomaly composite along the Cicero ship track (http://www.osl.gc.ca/produits/donnees/tsg/produits/cicero-avg-e.html).

Galil, B.S. and N. Hülsmann. 1997. Protist transport via ballast water - biological classification of ballast tanks by food web interactions. European Journal of Protistologia. 33(August 29): 244-253.

Gilbert, D. and B. Pettigrew. 1997. Interannual variability (1948-1994) of the CIL core temperature in the Gulf of St. Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54 (Suppl. 1): 57-67.

Gilbert M., F.J. Saucier and N. Simard. 2004. Suitability of the Gulf of St. Lawrence as an alternate zone for ballast water exchange by foreign ships proceeding up the St. Lawrence seaway. In J. Pederson (Ed.). Ballast Water Exchange: Exploring the Feasibility of Alternate Ballast Water Exchange Zones in the North Atlantic. Report from a workshop, Oct 27-28, 2003, Halifax, Nova Scotia. MIT Sea Grant College Program pub. No. 04-2, Cambridge, MA. pp. 71-78.

Glasgow, H.B., J.M. Burkholder, S.L. Morton and J. Springer. 2001. A second species of icthyotoxic Pfiesteria (Dinamoebales, Dinophyceae). Phycologia 40: 234-245.

Gollasch, S., M. Dammer, J. Lenz and H.G. Andres. 1995. Non-indigenous organisms introduced via ships into German waters. ICES Annual Science Conference, Aalborg (Denmark). ICES C.M. 1995/O:3. 21 p.

Gollasch, S., M. Dammer, J. Lenz and H.G. Andres. 1998. *In* J. T. Carlton. (Ed.). Non-indigenous organisms introduced via ships into German waters. ICES Coop. Res. Rep. 224: 50-64.

Gollasch, S., J. Lenz, H.G. Andres and M. Dammer. 2002. Summary of the German shipping study Introduction of non-indigenous organisms into the North Sea and Baltic Sea: Investigations on the potential ecological impact by international shipping. 15 p.

Gollasch, S. 2002. Databases on aquatic alien species: North and Mediterranean Seas and Non-European initiatives. *In* E. Leppäkoski, S. Gollasch and S. Olenin (Eds). Invasive aquatic species of Europe. Distribution, impacts and management. Dordrecht: Klumer Academic Publishers. pp. 520-524.

Gosselin, S., M. Levasseur and D. Gauthier. 1995. Transport and deballasting of toxic dinoflagellates via ships in the Grande Entree Lagoon of the Iles-de-la-Madeleine (Gulf of Saint-Lawrence, Canada). *In* P. Lassus, G. Arzul, E. Erard-Le Denn, P. Gentien and C. Marcaillou-Le Baut (Eds.). Harmful marine algal blooms. Lavoisier Publishing. Paris, France. pp. 591-596.

Hallegraeff, G.M. and C.J. Bolch. 1991. Transport of toxic dinoflagellate cysts via ships' ballast water. Marine Pollution Bulletin. 22(1): 27-30.

Hallegraeff, G.M. and C.J. Bolch. 1992. Transport of diatom and dinoflagellate resting spores in ships' ballast water: Implications for plankton biogeography and aquaculture. Journal of Plankton Research. 14(8): 1067-1084.

Hallegraeff, G.M. 1995. Transport of toxic dinoflagellate cysts via ships' ballast water: An interim review. ICES Annual Science Conference, Aalborg (Denmark). Theme session on ballast water. ICES C.M. 1995/O:15. 11 p.

Hamer, J.P., T.A. McCollin and I.A.N. Lucas. 2000. Dinoflagellate cysts in ballast tank sediments: Between tank variability. Marine Pollution Bulletin. 40(9): 731-733.

Han, G., Loder, J.W., Smith, P.C. 1999. Seasonal-mean hydrography and circulation in the Gulf of St Lawrence and on the Eastern Scotian and Southern Newfoundland shelves. J. Phys. Oceanogr. 29: 1279-1301.

Harvey, M., M. Gilbert, D. Gauthier and D.M. Reid. 1999. A preliminary assessment of risks for the ballast water-mediated introduction of nonindigenous marine organisms in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2268: x + 56 p.

Hülsmann, N. and B.S. Galil. 2002. Protists – A dominant component of the ballast transported biota. *In* E. Leppäkoski, S. Gollasch and S. Olenin (Eds.). Invasive Aquatic Species of Europe: Distributions, Impacts, and Management. Dordrecht: Klumer Academic Publishers. pp. 20-26.

Ingram, R.G. 1979. Water mass modification in the St. Lawrence Estuary. Naturaliste Can. 106: 45-54.

Koutitonsky, V.G. and G.L. Bugden. 1991. The physical oceanography of the Gulf of St. Lawrence : A review with emphasis on the synoptic variability of the motion. *In* J.-C Therriault (Ed.) The Gulf of St. Lawrence : Small Ocean or Big Estuary ? Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci. 113: 57-90.

Lauzier, L.M. and W.B. Bailey. 1957. Features of the deeper waters of the Gulf of St-Lawrence. Bull. Fish. Res. Board. Can. 111: 213-250.

Lavoie, D.M., L.D. Smith and G.M. Ruiz. 1999. The potential for intracoastal transfer of non-indigenous species in the ballast water of ships. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 48: 551-564.

Levings, C.D., J.R. Cordell, S. Ong and G.E. Piercey. 2004. The origin and identity of invertebrate organisms being transported to Canada's Pacific coast by ballast water. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 61(1): 1-11.

Locke, A., D.M. Reid, W.G. Sprules, J.T. Carlton and H.C. van Leeuwen. 1991. Effectiveness of mid-ocean exchange in controlling freshwater and coastal zooplankton in ballast water. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1822: vii + 93p.

Locke, A., D. M. Reid, W.G. Sprules, J.T. Carlton and H.C. van Leeuwen. 1993. Ballast water exchange as a means of controlling dispersal of freshwater organisms by ships. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 50: 2086-2093.

Loring, D.H. and D.J.G. Nota. 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. Fisheries Research Board of Canada Bulletin. 182 p.

Macdonald, E.M. 1995. Dinoflagellate resting cysts and ballast water discharges in Scottish ports. ICES Annual Science Conference, Aalborg (Denmark). ICES C.M. 1985/O:10. 25 p.

Macdonald, E.M. and R.D. Davidson. 1998. The occurrence of harmful algae in ballast discharges to Scottish ports and the effects of mid-waters exchange in regional seas. *In* B. Reguera, J. Blanco, L. Fernandez and T. Wyatt (Eds.). VIII International Conference on Harmful Algae, Vigo, Spain. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. pp. 220-223.

MacIsaac, H.J., T.C. Robbins and M.A. Lewis. 2002. Modeling ships' ballast water as invasion threats to the Great Lakes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 59(7): 1245-1256.

McCarthy S.A., R.M. McPhearson, A.M. Guarino and J.L. Gaines. 1992. Toxigenic *Vibrio cholerae* O1 and cargo ships entering Gulf of Mexico. Lancet. 339: 624-625.

McCarthy S.A and F.M. Khambaty. 1994. Internal dissemination of epidemic *Vibrio cholerae* by cargo ship ballast and other nonpotable waters. Appl. Environ. Microbiol. 60: 2597-2601.

McCarthy, H.P. and L.B. Crowder. 2000. An overlooked scale of global transport: phytoplankton species richness in ships' ballast water. Biological Invasions. 2(4): 321-322.

Olenin, S., E. Leppäkoski and D. Daunys. 2002. Internet database on alien species in the Baltic Sea. *In* E. Leppäkoski, S. Gollasch and S. Olenin (Eds). Invasive aquatic species of Europe. Distribution, impacts and management. Dordrecht: Klumer Academic Publishers. pp. 525-528.

Pederson, J. (Ed.). 2004. Consensus-based proposed alternate ballast alternate exchange zones. In Ballast Water Exchange: Exploring the Feasibility of Alternate Ballast Water Exchange Zones in the North Atlantic. Report from a workshop, Oct 27-28, 2003, Halifax, Nova Scotia. MIT Sea Grant College Program pub. No. 04-2, Cambridge, MA. pp. 9-19.

Petrie, B.D., K. Drinkwater, A. Sandstrom, R. Pettipas, D. Gregory, D. Gilbert and P. Sekhon. 1996. Temperature, salinity and sigma-t atlas for the Gulf of St. Lawrence. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 178: v + 256 pp.

Pierce, R.W., J.T. Carlton, D.A. Carlton and J.B. Geller. 1997. Ballast water as a vector for tintinnid transport. Marine Ecology Progress Series. 149: 295-297.

Rigby, G. and G.M. Hallegraeff. 1993. Ballast water exchange trial and behaviour of marine plankton on the M.V. "Iron Whyalla", in Japan and en-route to Canada. Australian quarantine and inspection service. Ballast water research series. No. 2 (part 3): 79-121.

Rigby, G. and G.M. Hallegraeff. 1994. The transfer and control of harmful marine organisms in shipping ballast water: behaviour of marine plankton and ballast water exchange trials on the MV "Iron Whyalla"." Journal of Marine Environment and Engineering. 1: 91-110.

Rigby, G. 2001. Ocean exchange as a means of mitigating the risks of translocating ballast water organisms - A review of progress ten years down the line. Journal of Marine Environmental Engineering. 6(3): 153-173.

RNT Consulting Inc. 2002. Environmental and Economic Costs of Alien Invasive Species in Canada. Picton, Ontario. 41 p.

Ruiz, G.M. and A.H. Hines. 1997. The risk of nonindigenous species invasion in Prince William Sound associated with oil tanker trafic and ballast water management: Pilot study. Report prepared for the Regional Citizens' Advisory council of Prince William sound, Valdez, Alaska. 4 p.

Ruiz, G.M., T.K. Rawlings, F.C. Dobbs, L.A. Drake, T. Mullady, A. Huq and R.R. Colwell. 2000. Global spread of micro organisms by ships. Nature. 408: 49-50.

Ruiz, G.M. and J.T. Carlton (Eds.). 2003. Invasive species : Vectors and management strategies. Island Press. Washington, D.C. 520 p.

Saucier, F., F. Roy, D. Gilbert, P. Pellerin and H. Ritchie. 2003. Modeling the formation and circulation processes of water masses and sea ice in the Gulf of Saint Lawrence, Canada. J. Geophys. Res. 108 (C8), 3269, doi:10.1029/2000JC000686.

Simard, N., S. Plourde, M. Gilbert and S. Gollasch. 2002. Offshore ballast water exchanges in the North Atlantic ocean: Comparing effectiveness on different phytoplankton and zooplankton groups. Study Group on Ballast and Other Ship Vectors (ICES), March 24-25, 2002, Vancouver, Canada.

Smith, D., M. Wonham, L. McCann, G. Ruiz, J. Carlton and D. Lavoie. 1997. The role of ballast water in transporting nonindigenous species to U.S. Second Northeast Conference on Nonindigenous Aquatic Nuisance Species, Burlington, Vermont, Connecticut Sea Grant College Program.

Smith, L.D., M.J. Wonham, L.D. McCann, G.M. Ruiz, A. H. Hines and J.T. Carlton. 1999. Invasion pressure to a ballast-flooded estuary and an assessment of inoculant survival. Biological Invasions. 1(1): 67-87.

Stigebrandt, A. 2001. Physical oceanography of the Baltic Sea. In F. Wulff, L. Rahm and P. Larsson (Eds.), A Systems Analysis of the Baltic Sea. Ecological Studies. 148. Springer Verlag, heidelberg, pp. 19-74.

Subba Rao, D.V., W.G. Sprules, A. Locke and J.T. Carlton. 1994. Exotic phytoplankton from ships' ballast waters: risk of potential spread to mariculture sites on Canada's east coast. Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.: iv + 51 p.

Taylor, A., G. Rigby, S. Gollasch, M. Voigt, G. Hallegraeff, T. McCollin, and A. Jelmert. 2002. Preventative treatment and control techniques for ballast water. *In* E. Leppakoski, S. Gollasch, and S. Olenin (Eds.). Aquatic Species of Europe - Distribution, Impacts and Management. Kluwer Academic Publishers, London. pp. 484-507.

Transport Canada 2002. Guidelines for the control of ballast water discharge from ships in waters under Canadian jurisdiction. Transport Canada, Marine Safety. TP13617E. 12 p.

Transports Canada. 2002. Lignes directrices visant le contrôle des rejets des eaux de lest des navires dans les eaux de compétence canadienne, Transports Canada, Sécurité maritime TP13617F. 15 p.

United Coast Guard. 1993. Ballast water management for vessels entering the Great Lakes. 33-CFR Part 151.1510.

Williams, R.J., F.B. Griffiths, E.J. Van der Wal and J. Kelly. 1988. Cargo vessel ballast water as a vector for the transport of non-indigenous marine species. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 26: 409-420.

Wonham, M.J., W.C. Walton, G.M. Ruiz, A.M. Frese and B.S. Galil. 2001. Going to the source: Role of the invasion pathway in determining potential invaders. Marine Ecology Progress Series. 215: 1-12.

Yoshida, M., Y. Fukuyo, T. Urase and T. Kegami. 1996. On-board observations of phytoplankton viability in ships' ballast tanks under critical light and temperature conditions. *In* T. Yasumoto, Y. Oshima and Y. Ukoyo (Eds.). Harmful and Toxic Algal Blooms. Lavoisier Publishing. Paris, France. pp. 205-208.

Zhang, F. and M. Dickman. 1999. Mid-ocean exchange of container vessel ballast water. 1: Seasonal factors affecting the transport of harmful diatoms and dinoflagellates. Mar. Ecol. Prog. Ser. 176: 243-251.

Table 1. Estimated total ballast water capacity (in tonnes) of foreign vessels per vessel type, season and sub-regions of the Great Lakes and St. Lawrence for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database). GL: Great Lakes; SLR: St. Lawrence River; SLE: St. Lawrence Estuary; NWGSL: Northwestern Gulf of St Lawrence. Bulk: Bulk Carrier; G Cargo: Merchant General; All: Bulk Carrier, Merchant General and Tanker combined.

Region destination	Vessel type	Winter	Spring	Summer	Fall	Total
GL	Bulk	35 842	619 447	748 302	537 695	1 941 285
	G Cargo	5 173	34 176	47 512	40 809	127 671
	Tanker	9 616	28 847	57 693	48 078	144 233
	All	**50 630**	**682 470**	**853 506**	**626 582**	**2 213 189**
SLR	Bulk	817 024	1 633 255	1 774 496	1 801 480	6 026 254
	G Cargo	167 079	147 268	207 675	188 524	710 546
	Tanker	423 082	461 544	557 699	500 006	1 942 331
	All	**1 407 185**	**2 242 067**	**2 539 870**	**2 490 010**	**8 679 131**
SLE	Bulk	418 575	645 309	881 786	819 862	2 765 532
	G Cargo	100 270	148 422	182 645	97 544	528 881
	Tanker	19 231	28 847	38 462	9 616	96 155
	All	**538 076**	**822 577**	**1 102 893**	**927 021**	**3 390 568**
NWGSL	Bulk	2 666 800	3 127 484	3 161 668	3 198 884	12 154 836
	G Cargo	17 484	34 835	32 449	38 111	122 879
	Tanker	79 328	88 943	60 097	50 481	278 850
	All	**2 763 612**	**3 251 263**	**3 254 214**	**3 287 476**	**12 556 564**
TOTAL	Bulk	3 938 240	6 025 495	6 566 252	6 357 920	**22 887 908**
	G Cargo	290 007	364 701	470 281	364 988	**1 489 977**
	Tanker	531 256	608 180	713 951	608 180	**2 461 568**
	All	**4 759 504**	**6 998 377**	**7 750 483**	**7 331 088**	**26 839 452**

Tableau 1. Capacité totale estimée (t) en eaux de lest des navires en provenance de l'étranger par type de navires, saison et sous-région des Grands Lacs et du Saint-Laurent pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS). GL : Grands Lacs; FSL : Fleuve Saint-Laurent; ESL : Estuaire du Saint-Laurent; NOGSL : Nord-ouest du golfe du Saint-Laurent. Tous : vraquiers, cargos généraux (marchandises générales) et navires-citernes combinés.

Région de destination	Type de navires	Hiver	Printemps	Été	Automne	Total
GL	Vraquiers	35 842	619 447	748 302	537 695	1 941 285
	Cargos généraux	5 173	34 176	47 512	40 809	127 671
	Navires-citernes	9 616	28 847	57 693	48 078	144 233
	Tous	**50 630**	**682 470**	**853 506**	**626 582**	**2 213 189**
FSL	Vraquiers	817 024	1 633 255	1 774 496	1 801 480	6 026 254
	Cargos généraux	167 079	147 268	207 675	188 524	710 546
	Navires-citernes	423 082	461 544	557 699	500 006	1 942 331
	Tous	**1 407 185**	**2 242 067**	**2 539 870**	**2 490 010**	**8 679 131**
ESL	Vraquiers	418 575	645 309	881 786	819 862	2 765 532
	Cargos généraux	100 270	148 422	182 645	97 544	528 881
	Navires-citernes	19 231	28 847	38 462	9 616	96 155
	Tous	**538 076**	**822 577**	**1 102 893**	**927 021**	**3 390 568**
NOGSL	Vraquiers	2 666 800	3 127 484	3 161 668	3 198 884	12 154 836
	Cargos généraux	17 484	34 835	32 449	38 111	122 879
	Navires-citernes	79 328	88 943	60 097	50 481	278 850
	Tous	**2 763 612**	**3 251 263**	**3 254 214**	**3 287 476**	**12 556 564**
TOTAL	Vraquiers	3 938 240	6 025 495	6 566 252	6 357 920	**22 887 908**
	Cargos généraux	290 007	364 701	470 281	364 988	**1 489 977**
	Navires-citernes	531 256	608 180	713 951	608 180	**2 461 568**
	Tous	**4 759 504**	**6 998 377**	**7 750 483**	**7 331 088**	**26 839 452**

Table 2. Estimated total ballast water capacity (in tonnes) of foreign vessels per vessel type, season and/or area of the Great Lakes and St. Lawrence (source: 1978-1996 ECAREG-VTS databases). See Table 1 for details.

Region destination / year	Vessel type	Winter	Spring	Summer	Fall	Total
SLE and **NWGSL** combined	Bulk	2 894 213	4 034 093	4 418 334	4 696 936	**16 043 576**
1995 shipping season	G Cargo	76 868	88 774	76 721	86 641	**329 004**
(from Harvey et al.1999)	Tanker	9 615	4 554	9 108	4 554	**27 831**
	All	**2 980 696**	**4 127 420**	**4 504 163**	**4 788 131**	**16 400 411**
GL						
1978 shipping season	All					1 680 000
1996 shipping season	All					2 880 000
Annual mean **1978-1996**	All					**2 270 000 ± 470 000**
(from Bourgeois et al. 2001)						
SLR						
1978 shipping season	All					5 860 000
1996 shipping season	All					12 240 000
Annual mean **1978-1996**	All					**10 800 000 ± 2 330 000**
(from Bourgeois et al. 2001)						
SLE and **NWGSL** combined						
1978 shipping season	All					5 570 000
1996 shipping season	All					14 230 000
Annual mean **1978-1996**	All					**14 380 000 ± 2 560 000**
(from Bourgeois et al. 2001)						
TOTAL						
1978 shipping season	All					**13 110 000**
1996 shipping season	All					**29 350 000**
Annual mean **1978-1996**	All					**27 450 000 ± 5 360 000**
(from Bourgeois et al. 2001)						

Tableau 2. Capacité totale estimée (t) en eaux de lest des navires en provenance de l'étranger par type de navires, saison et/ou région des Grands Lacs et du Saint-Laurent (source : base de données ECAREG-VTS 1978-1996). Les détails apparaissent au Tableau 1.

Région de destination/année	Type de navires	Hiver	Printemps	Été	Automne	Total
ESL et **NOGSL** combinés	Vraquiers	2 894 213	4 034 093	4 418 334	4 696 936	**16 043 576**
saison de navigation 1995	Cargos généraux	76 868	88 774	76 721	86 641	**329 004**
(source: Harvey *et al.* 1999)	Navires-citernes	9 615	4 554	9 108	4 554	**27 831**
	Tous	**2 980 696**	**4 127 420**	**4 504 163**	**4 788 131**	**16 480 411**
GL						
saison de navigation 1978	Tous					1 680 000
saison de navigation 1996	Tous					2 880 000
Moyenne annuelle **1978-1996**	Tous					**2 270 000 ± 470 000**
(source: Bourgeois *et al.* 2001)						
FSL						
saison de navigation 1978	Tous					5 860 000
saison de navigation 1996	Tous					12 240 000
Moyenne annuelle **1978-1996**	Tous					**10 800 000 ± 2 330 000**
(source: Bourgeois *et al.* 2001)						
ESL et **NOGSL** combinés						
saison de navigation 1978	Tous					5 570 000
saison de navigation 1996	Tous					14 230 000
Moyenne annuelle **1978-1996**	Tous					**14 380 000 ± 2 560 000**
(source: Bourgeois *et al.* 2001)						
TOTAL						
saison de navigation 1978	Tous					**13 110 000**
saison de navigation 1996	Tous					**29 350 000**
Moyenne annuelle **1978-1996**	Tous					**27 450 000 ± 5 360 000**
(source: Bourgeois *et al.* 2001)						

Table 3. Estimated total ballast water (in tonnes) carried on arrival by all foreign vessels per vessel type, season and sub-regions of the Great Lakes and St. Lawrence for 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database). Others: Barges, Tugs, Merchant Ore, Merchant Passenger, Merchant Reefer and Special Purpose Vessels. See Table 1 for details.

Region destination	Vessel type	Winter	Spring	Summer	Fall	Total
GL	Bulk	4 812	28 495	67 154	63 732	164 193
	G Cargo	381	5 142	3 571	3 050	12 143
	Tanker	306	775	1 417	1 265	3 764
	Container	0	0	185	0	185
	Others	0	413	13	220	646
	All	**5 499**	**34 825**	**72 339**	**68 266**	**180 930**
SLR	Bulk	89 783	140 762	158 899	264 253	653 697
	G Cargo	27 599	25 782	33 040	39 672	126 093
	Tanker	103 911	63 270	70 543	43 025	280 749
	Container	58 601	62 702	62 355	63 230	246 889
	Others	427	467	1 325	222	2 441
	All	**280 322**	**292 983**	**326 161**	**410 403**	**1 309 869**
SLE	Bulk	42 216	57 408	129 871	174 173	403 668
	G Cargo	43 061	54 837	69 697	35 794	203 389
	Tanker	17 842	1 839	3 196	608	23 485
	Container	3 138	473	0	0	3 611
	All	**106 258**	**114 557**	**202 765**	**210 575**	**634 154**
NWGSL	Bulk	2 173 126	2 355 624	2 462 209	2 414 859	9 405 818
	G Cargo	2 849	7 204	11 478	9 497	31 028
	Tanker	233 527	80 627	124 757	126 526	565 437
	Container	0	0	0	4 905	4 905
	Others	53 611	22	0	8 856	62 489
	All	**2 463 113**	**2 443 477**	**2 598 444**	**2 564 642**	**10 069 676**
TOTAL	Bulk	2 309 936	2 582 289	2 818 133	2 917 017	**10 627 376**
	G Cargo	73 891	92 965	117 785	88 012	**372 654**
	Tanker	355 587	146 511	199 913	171 424	**873 435**
	Container	61 740	63 175	62 540	68 135	**255 589**
	Others	54 038	902	1 338	9 298	**65 576**
	All	**2 855 192**	**2 885 843**	**3 199 709**	**3 253 886**	**12 194 630**

Tableau 3. Volume total estimé (t) d'eaux de lest transporté à l'arrivée par tous les navires en provenance de l'étranger, par type de navires, saison et sous-région des Grands Lacs et du Saint-Laurent pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS). Autres : barges, remorqueurs, navires marchands de minerais, de passagers et réfrigérés et navires à fonctions spéciales. Les détails apparaissent au Tableau 1.

Région de destination	Type de navires	Hiver	Printemps	Été	Automne	Total
GL	Vraquiers	4 812	28 495	67 154	63 732	164 193
	Cargos généraux	381	5 142	3 571	3 050	12 143
	Navires-citernes	306	775	1 417	1 265	3 764
	Porte-conteneurs	0	0	185	0	185
	Autres	0	413	13	220	646
	Tous	**5 499**	**34 825**	**72 339**	**68 266**	**180 930**
FSL	Vraquiers	89 783	140 762	158 899	264 253	653 697
	Cargos généraux	27 599	25 782	33 040	39 672	126 093
	Navires-citernes	103 911	63 270	70 543	43 025	280 749
	Porte-conteneurs	58 601	62 702	62 355	63 230	246 889
	Autres	427	467	1 325	222	2 441
	Tous	**280 322**	**292 983**	**326 161**	**410 403**	**1 309 869**
ESL	Vraquiers	42 216	57 408	129 871	174 173	403 668
	Cargos généraux	43 061	54 837	69 697	35 794	203 389
	Navires-citernes	17 842	1 839	3 196	608	23 485
	Porte-conteneurs	3 138	473	0	0	3 611
	Tous	**106 258**	**114 557**	**202 765**	**210 575**	**634 154**
NOGSL	Vraquiers	2 173 126	2 355 624	2 462 209	2 414 859	9 405 818
	Cargos généraux	2 849	7 204	11 478	9 497	31 028
	Navires-citernes	233 527	80 627	124 757	126 526	565 437
	Porte-conteneurs	0	0	0	4 905	4 905
	Autres	53 611	22	0	8 856	62 489
	Tous	**2 463 113**	**2 443 477**	**2 598 444**	**2 564 642**	**10 069 676**
TOTAL	Vraquiers	2 309 936	2 582 289	2 818 133	2 917 017	**10 627 376**
	Cargos généraux	73 891	92 965	117 785	88 012	**372 654**
	Navires-citernes	355 587	146 511	199 913	171 424	**873 435**
	Porte-conteneurs	61 740	63 175	62 540	68 135	**255 589**
	Autres	54 038	902	1 338	9 298	**65 576**
	Tous	**2 855 192**	**2 885 843**	**3 199 709**	**3 253 886**	**12 194 630**

Table 4. Estimated total ballast water (in tonnes) carried on arrival by foreign vessels in ballast, per vessel type, season and sub-regions of the Great Lakes and St. Lawrence for 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database). See Tables 1 and 3 for details.

Region destination	Vessel type	Winter	Spring	Summer	Fall	Total
GL	Bulk	3 661	2 715	39 902	44 806	91 085
	G Cargo	0	3 012	0	0	3 012
	Others	0	413	13	0	426
	All	**3 661**	**6 140**	**39 915**	**44 806**	**94 522**
SLR	Bulk	62 732	81 537	96 500	208 225	448 994
	G Crago	17 637	17 211	20 518	29 737	85 103
	Tanker	58 763	21 272	20 840	4 030	104 905
	Others	0	257	24	130	410
	All	**139 132**	**120 277**	**137 882**	**242 123**	**639 413**
SLE	Bulk	28 878	36 438	105 068	154 194	324 578
	G cargo	41 208	50 689	64 958	33 006	189 862
	Tanker	17 049	0	0	0	17 049
	Container	2 747	0	0	0	2 747
	All	**89 882**	**87 127**	**170 026**	**187 200**	**534 235**
NWGSL	Bulk	2 168 622	2 347 679	2 455 992	2 407 452	9 379 744
	G Cargo	1 797	5 371	10 437	7 689	25 295
	Tanker	233 527	79 589	124 757	125 697	563 570
	Container	0	0	0	4 905	4 905
	Others	53 611	0	0	8 856	62 467
	All	**2 457 557**	**2 432 639**	**2 591 186**	**2 554 599**	**10 035 981**
TOTAL	Bulk	2 263 893	2 468 369	2 697 461	2 814 678	**10 244 401**
	G Cargo	60 642	76 283	95 913	70 433	**303 271**
	Tanker	309 340	100 861	145 597	129 727	**685 525**
	Container	2 747	0	0	4 905	**7 651**
	Others	53 611	670	37	8 986	**63 303**
	ALL	**2 690 232**	**2 646 183**	**2 939 008**	**3 028 728**	**11 304 152**

Tableau 4. Volume total estimé (t) d'eaux de lest transporté à l'arrivée par les navires sur lest en provenance de l'étranger, par type de navires, saison et sous-région des Grands Lacs et du Saint-Laurent pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS). Les détails apparaissent aux tableaux 1 et 3.

Région de destination	Type de navires	Hiver	Printemps	Été	Automne	Total
GL	Vraquiers	3 661	2 715	39 902	44 806	91 085
	Cargos généraux	0	3 012	0	0	3 012
	Autres	0	413	13	0	426
	Tous	**3 661**	**6 140**	**39 915**	**44 806**	**94 522**
FSL	Vraquiers	62 732	81 537	96 500	208 225	448 994
	Cargos généraux	17 637	17 211	20 518	29 737	85 103
	Navires-citernes	58 763	21 272	20 840	4 030	104 905
	Autres	0	257	24	130	410
	Tous	**139 132**	**120 277**	**137 882**	**242 123**	**639 413**
ESL	Vraquiers	28 878	36 438	105 068	154 194	324 578
	Cargos généraux	41 208	50 689	64 958	33 006	189 862
	Navires-citernes	17 049	0	0	0	17 049
	Porte-conteneurs	2 747	0	0	0	2 747
	Tous	**89 882**	**87 127**	**170 026**	**187 200**	**534 235**
NOGSL	Vraquiers	2 168 622	2 347 679	2 455 992	2 407 452	9 379 744
	Cargos généraux	1 797	5 371	10 437	7 689	25 295
	Navires-citernes	233 527	79 589	124 757	125 697	563 570
	Porte-conteneurs	0	0	0	4 905	4 905
	Autres	53 611	0	0	8 856	62 467
	Tous	**2 457 557**	**2 432 639**	**2 591 186**	**2 554 599**	**10 035 981**
TOTAL	Vraquiers	2 263 893	2 468 369	2 697 461	2 814 678	**10 244 401**
	Cargos généraux	60 642	76 283	95 913	70 433	**303 271**
	Navires-citernes	309 340	100 861	145 597	129 727	**685 525**
	Porte-conteneurs	2 747	0	0	4 905	**7 651**
	Autres	53 611	670	37	8 986	**63 303**
	TOUS	**2 690 232**	**2 646 183**	**2 939 008**	**3 028 728**	**11 304 152**

Table 5. Estimated total ballast water (in tonnes) carried on arrival by foreign vessels per vessel type, season and sub-regions of the Great Lakes and St. Lawrence (source: 1978-1996 ECAREG-VTS database). See Table 1 for details.

Region destination / year	Vessel type	Spring	Summer	Fall	Winter	Total
SLE and **NWGSL** combined	Bulk	2 857 756	3 288 031	3 348 574	2 155 838	11 650 200
for **1995** shipping season	G Cargo	45 259	31 925	30 551	28 590	136 325
(from Harvey et al.1999)	Tanker	580	1 160	580	580	2 900
	All	**2 903 595**	**3 321 116**	**3 379 705**	**2 185 008**	**11 789 424**
GL						
Annual mean **1994-1996**	All					**250 000 ± 220 000**
(from Bourgeois et al. 2001)						
SLR						
Annual mean **1994-1996**	All					**2 700 000 ± 2 240 000**
(from Bourgeois et al. 2001)						
SLE and **NWGSL** combined						
Annual mean **1994-1996**	All					**9 910 000 ± 470 000**
(from Bourgeois et al. 2001)						
TOTAL						
Annual mean **1994-1996**	All					**12 860 000 ± 2 930 000**
(from Bourgeois et al. 2001)						

Tableau 5. Volume total estimé (t) d'eaux de lest transporté à l'arrivée par les navires en provenance de l'étranger, par type de navires, saison et sous-région des Grands Lacs et du Saint-Laurent (source : base de données ECAREG-VTS 1978-1996). Les détails apparaissent au Tableau 1.

Région de destination/année	Type de navires	Printemps	Été	Automne	Hiver	Total
ESL et **NOGSL** combinés	Vraquiers	2 857 756	3 288 031	3 348 574	2 155 838	11 650 200
saison de navigation 1995	Cargos généraux	45 259	31 925	30 551	28 590	136 325
(source: Harvey *et al.* 1999)	Navires-citernes	580	1 160	580	580	2 900
	Tous	**2 903 595**	**3 321 116**	**3 379 705**	**2 185 008**	**11 789 424**
GL						
Moyenne annuelle **1994-1996**	Tous					**250 000 ± 220 000**
(source: Bourgeois *et al.* 2001)						
FSL						
Moyenne annuelle **1994-1996**	Tous					**2 700 000 ± 2 240 000**
(source: Bourgeois *et al.* 2001)						
ESL et **NOGSL** combinés						
Moyenne annuelle **1994-1996**	Tous					**9 910 000 ± 470 000**
(source: Bourgeois *et al.* 2001)						
TOTAL						
Moyenne annuelle **1994-1996**	Tous					**12 860 000 ± 2 930 000**
(source: Bourgeois *et al.* 2001)						

Table 6. Estimated total ballast water capacity (in tonnes) and estimated total ballast water (in tonnes) carried on arrival by the 42 foreign vessels in cargo or in ballast which have exchanged ballast water in the Laurentian Channel in 2000 (source: RNT Consulting 2002, appendices; ECAREG-VTS database). See Table 1 for details.

Condition	Vessel type	Total Ballast water capacity	Total Ballast water on arrival
In cargo	Bulk	171 857	6 938
	G cargo	15 965	1 179
	Tanker	48 078	2 069
	Other	3 322	248
In ballast	Bulk	296 488	208 542
	G cargo	28 823	16 049
	Tanker	19 231	3 807
	Others	145	24
Total	**All**	**583 908**	**238 855**

Tableau 6. Capacité totale estimée (t) en eaux de lest et volume total estimé (t) d'eaux de lest transporté à l'arrivée par les 42 navires chargés ou sur lest en provenance de l'étranger qui ont échangé leurs eaux de lest dans le chenal Laurentien en 2000 (source : RNT Consulting 2002, annexes; base de données ECAREG-VTS). Les détails apparaissent au Tableau 1.

Condition	Type de navires	Capacité totale	Vol. total à l'arrivée
Chargés	Vraquiers	171 857	6 938
	Cargos généraux	15 965	1 179
	Navires-citernes	0	2 069
	Autres	3 322	248
Sur lest	Vraquiers	296 488	208 542
	Cargos généraux	28 823	16 049
	Navires-citernes	19 231	3 807
	Autres	145	24
Total	**Tous**	**535 830**	**238 855**

Table 7. Foreign vessels which declared to have performed ballast water exchanges in the Laurentian Channel in 2002 (Source: INNAV database, M. Balaban, Transport Canada).

Exchange date	Vessel type	Ballast water exchange volume (M^3)	FAO Region of Origin	Destination	Comments
2002-01-04	Bulk Cargo	21 546	A	Sept-Îles, PQ	
2002-01-18	Motor Tanker	29 792	A	Quebec, PQ	Missing data? 11 tanks underwent exchange, but only 7 reported in database.
2002-04-18	RORO	3 105	A	Baie-Comeau, PQ	Roll-on roll-off ship
	Chem/Oil		A	Montreal, PQ	
2002-12-10	Tanker	1 994			
2002-12-29	General Cargo	324	A	Matane, PQ	
Total 2002	**All**	**56 761**	**A**	**St. Lawrence Estuary and St. Lawrence River**	

Tableau 7. Navires en provenance de l'étranger qui ont déclaré avoir échangé des eaux de lest dans le chenal Laurentien en 2002 (source : base de données INNAV, M. Balaban, Transports Canada).

Date d'échange	Type de navires	Volume d'eaux de lest échangé (m^3)	Région d'origine (FAO)	Destination	Commentaires
2002-01-04	Vraquiers	21 546	A	Sept-Îles, Qc	Données manquantes? 11 pétroliers ont effectué des échanges, mais seulement 7 sont mentionnés dans la base de données.
2002-01-18	Navires-citernes motorisés	29 792	A	Québec, Qc	
2002-04-18	Rouliers (marchands RO/RO)	3 105	A	Baie-Comeau, Qc	Chargement et déchargement par roulage
2002-12-10	Navires-citernes de produits chimiques/pétrole	1 994	A	Montréal, Qc	
2002-12-29	Cargos généraux	324	A	Matane, Qc	
Total : 2002	**Tous**	**56 761**	**A**	**Fleuve Saint-Laurent et estuaire du Saint-Laurent**	

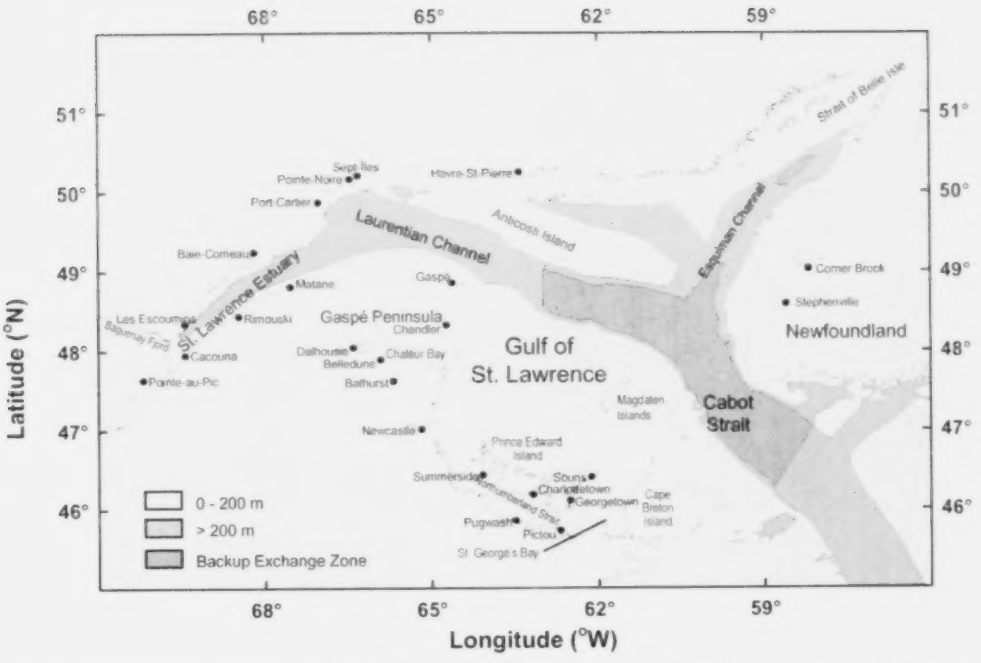


Figure 1. Current alternative ballast water exchange zone for ships proceeding up the St. Lawrence Seaway and Great Lakes.

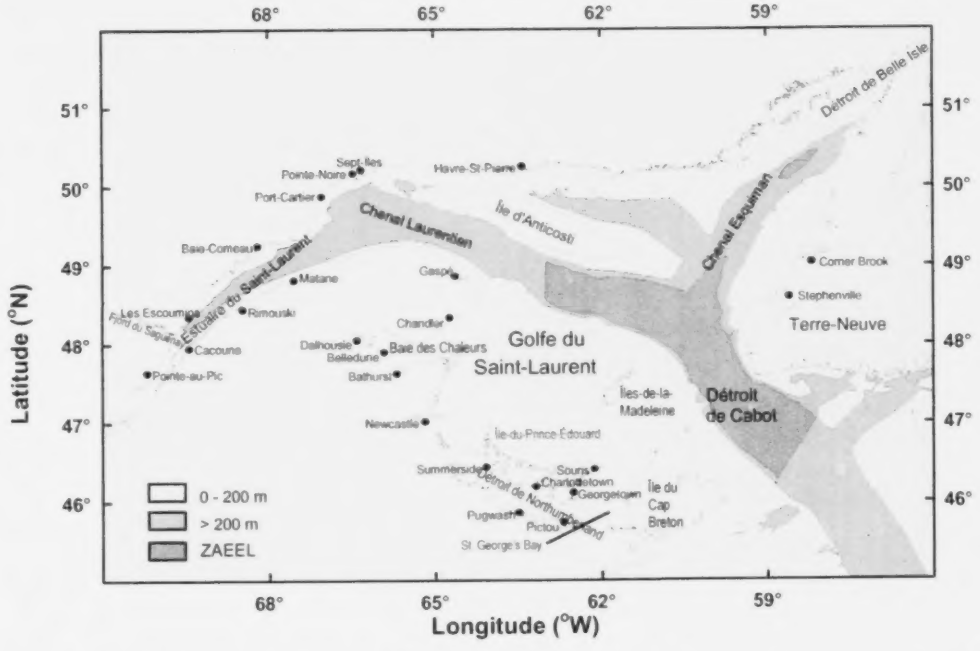


Figure 1. Zone auxiliaire d'échange des eaux de lest des navires remontant la Voie maritime du Saint-Laurent et les Grands Lacs.

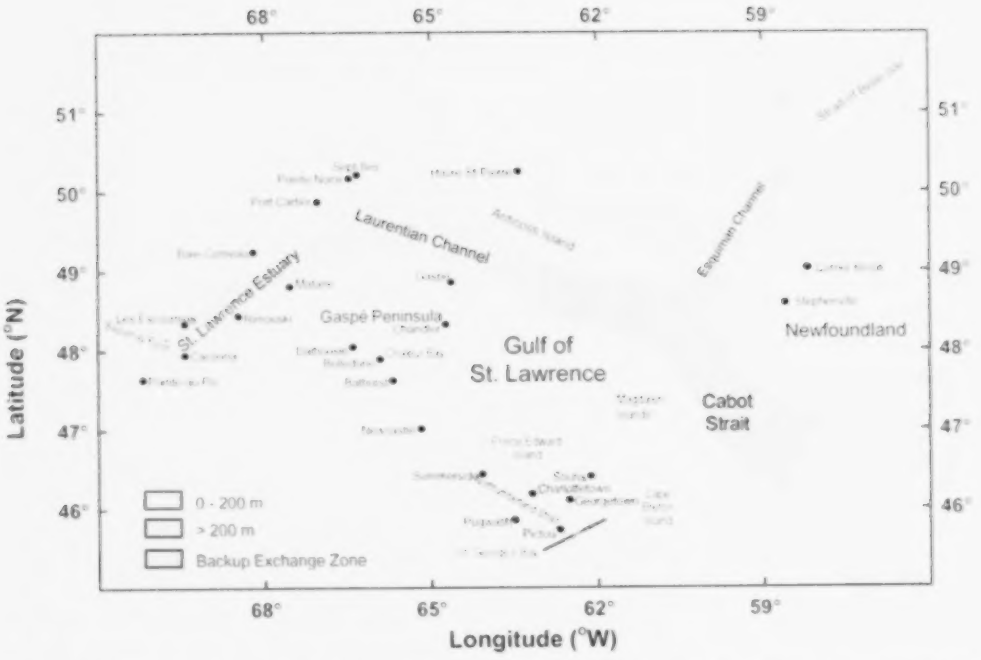


Figure 1. Current alternative ballast water exchange zone for ships proceeding up the St. Lawrence Seaway and Great Lakes.

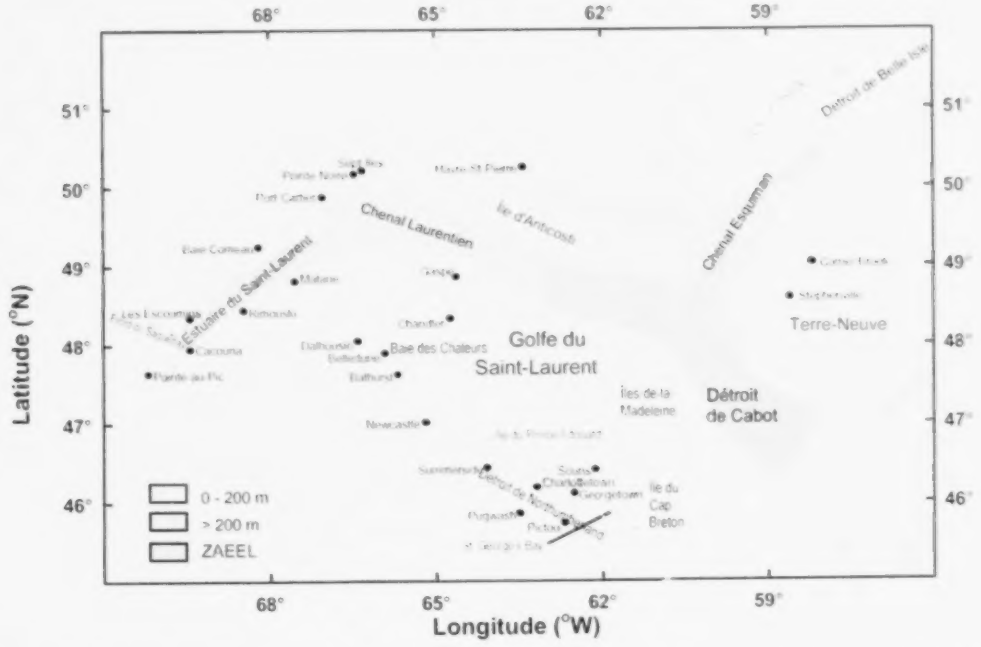


Figure 1. Zone auxiliaire d'échange des eaux de lest des navires remontant la Voie maritime du Saint-Laurent et les Grands Lacs.

A = Northwest Atlantic
B = Northeast Atlantic
C = Mediterranean and Black Sea
D = Northwest Pacific
E = Northeastern Pacific
F = Eastern Central Atlantic
G = Western Central Atlantic
H = Indian Ocean
I = Western Central Pacific
J = Eastern Central Pacific
K = Southwest Pacific
L = Southeast Pacific
M = Southwest Atlantic
N = Southeast Atlantic

A = Atlantique nord-ouest
B = Atlantique nord-est
C = Méditerranée et mer Noire
D = Pacifique nord-ouest
E = Pacifique nord-est
F = Atlantique centre-est
G = Atlantique centre-ouest
H = Océan Indien
I = Pacifique centre-ouest
J = Pacifique centre-est
K = Pacifique sud-ouest
L = Pacifique sud-est
M = Atlantique sud-ouest
N = Atlantique sud-est

Figure 2. Standardized ocean regions of the world as used by the United Nations' Food and Agriculture Organization (FAO).

Figure 2. Régions océaniques normalisées du monde utilisées par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

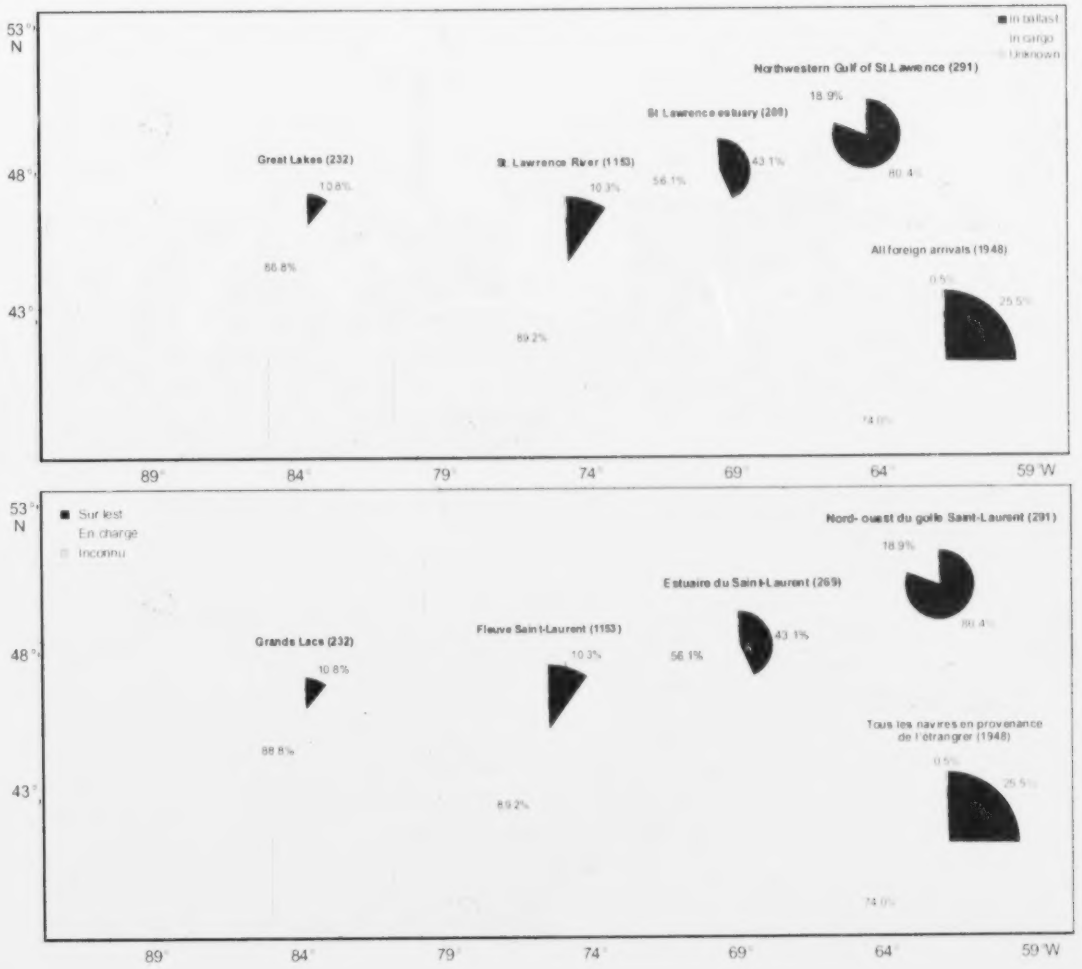
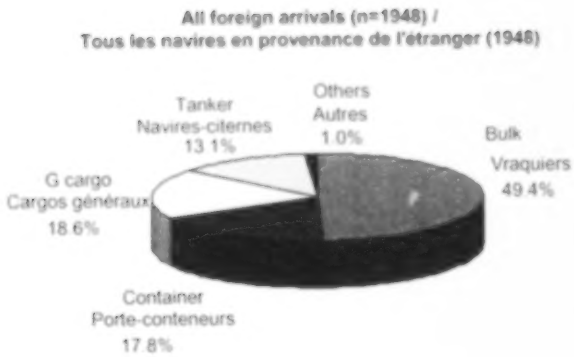


Figure 3. Vessel arrivals from foreign origin ports for the four major areas of activity in the St. Lawrence and Great Lakes for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database). The total number of arrivals for each area is given in parentheses.

Figure 3. Arrivée des navires en provenance de ports étrangers dans les quatre principales régions d'activité du Saint-Laurent et des Grands Lacs pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS). Le nombre total d'arrivées dans chaque région est indiqué entre parenthèses.

A.



B.

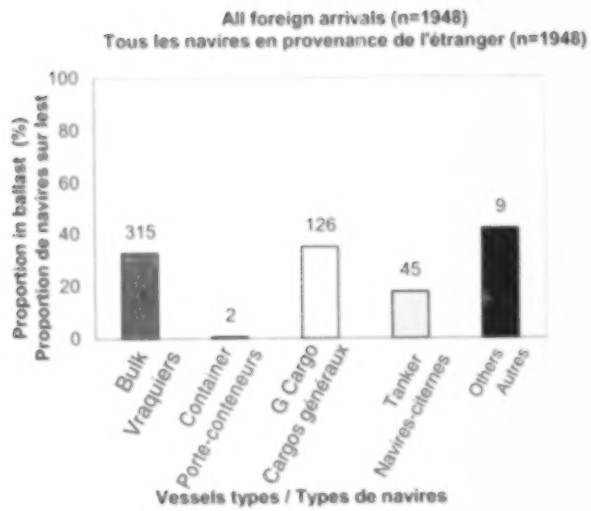


Figure 4. A. Relative importance, as percentage of total number of vessels bound for the St. Lawrence and Great Lakes, of each vessel type. B. Proportions of vessels arriving in ballast for each vessel type for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database). Numbers over the bars indicate the number of vessels in ballast. Other vessel types include: Barges, Tugs, Merchant Ore, Merchant Passenger, Merchant Reefer, and Special Purpose Vessels.

Figure 4. A. Importance relative, en pourcentage du nombre total de navires à destination du Saint-Laurent et des Grands Lacs, par type de navires. B. Proportions des navires sur lest, par type de navires, pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS). Le nombre de navires sur lest est indiqué au-dessus des bandes de l'histogramme. Les autres types de navires sont : les barges, les remorqueurs, les navires marchands de minerais, de passagers et réfrigérés et les navires à fonctions spéciales.

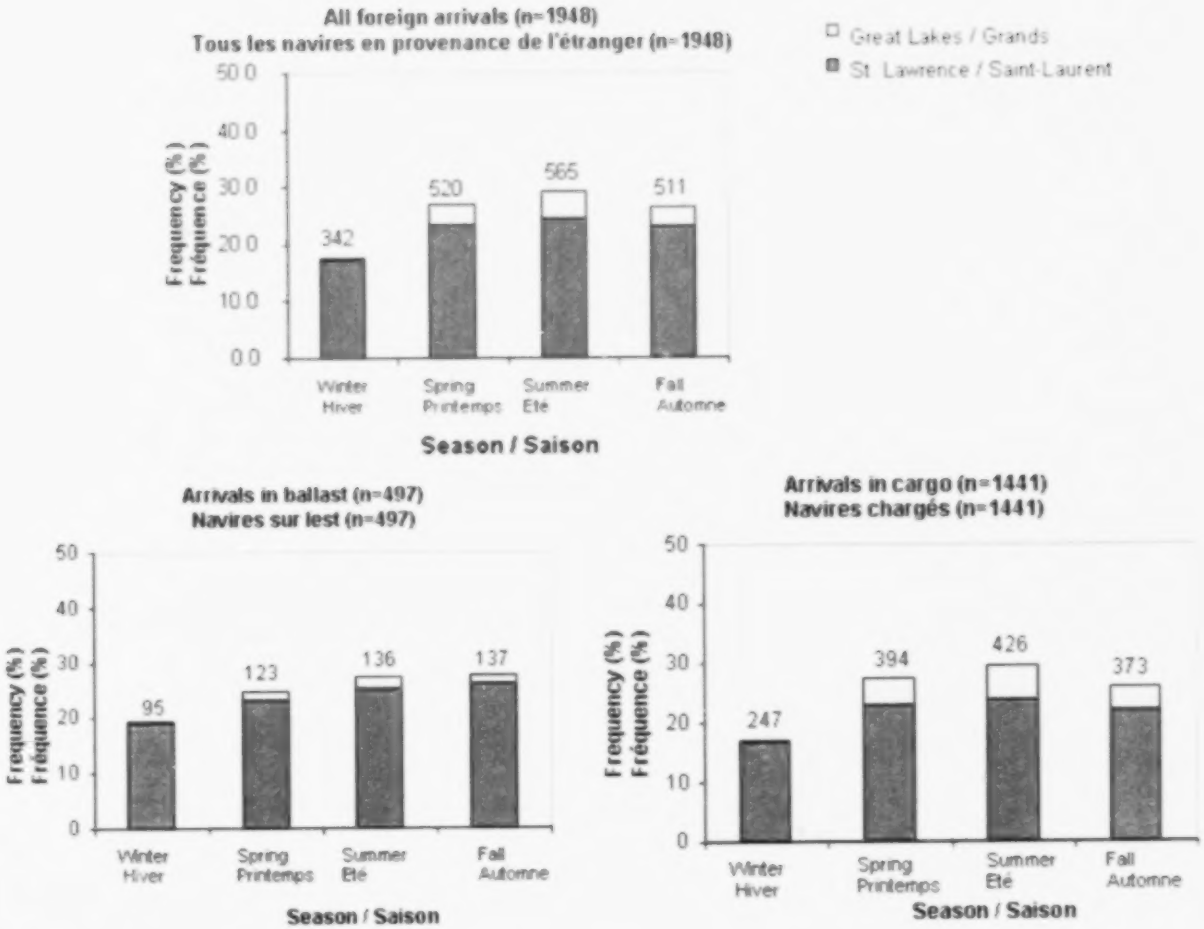


Figure 5. Seasonal variation in foreign maritime traffic entering the St. Lawrence and Great Lakes for all foreign vessel arrivals, for arrivals in cargo and for arrivals in ballast for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database). The total number of vessels (St. Lawrence and Great Lakes combined) is indicated above each bar.

Figure 5. Variation saisonnière du trafic maritime en provenance de l'étranger entrant dans le Saint-Laurent et les Grands Lacs pour toutes les arrivées de navires en provenance de l'étranger, de navires sur lest et de navires chargés pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS). Le nombre total de navires (Saint-Laurent et Grands Lacs combinés) apparaît au-dessus des bandes des histogrammes.

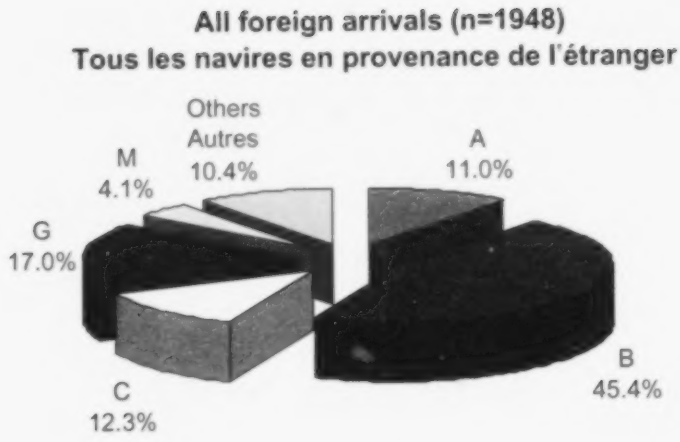


Figure 6. FAO standardized ocean regions of origin (in percentage) of all foreign vessels bound to the St. Lawrence and Great Lakes for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database).

Figure 6. Régions océaniques normalisées (FAO) de provenance de tous les navires à destination du Saint-Laurent et des Grands Lacs pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS).

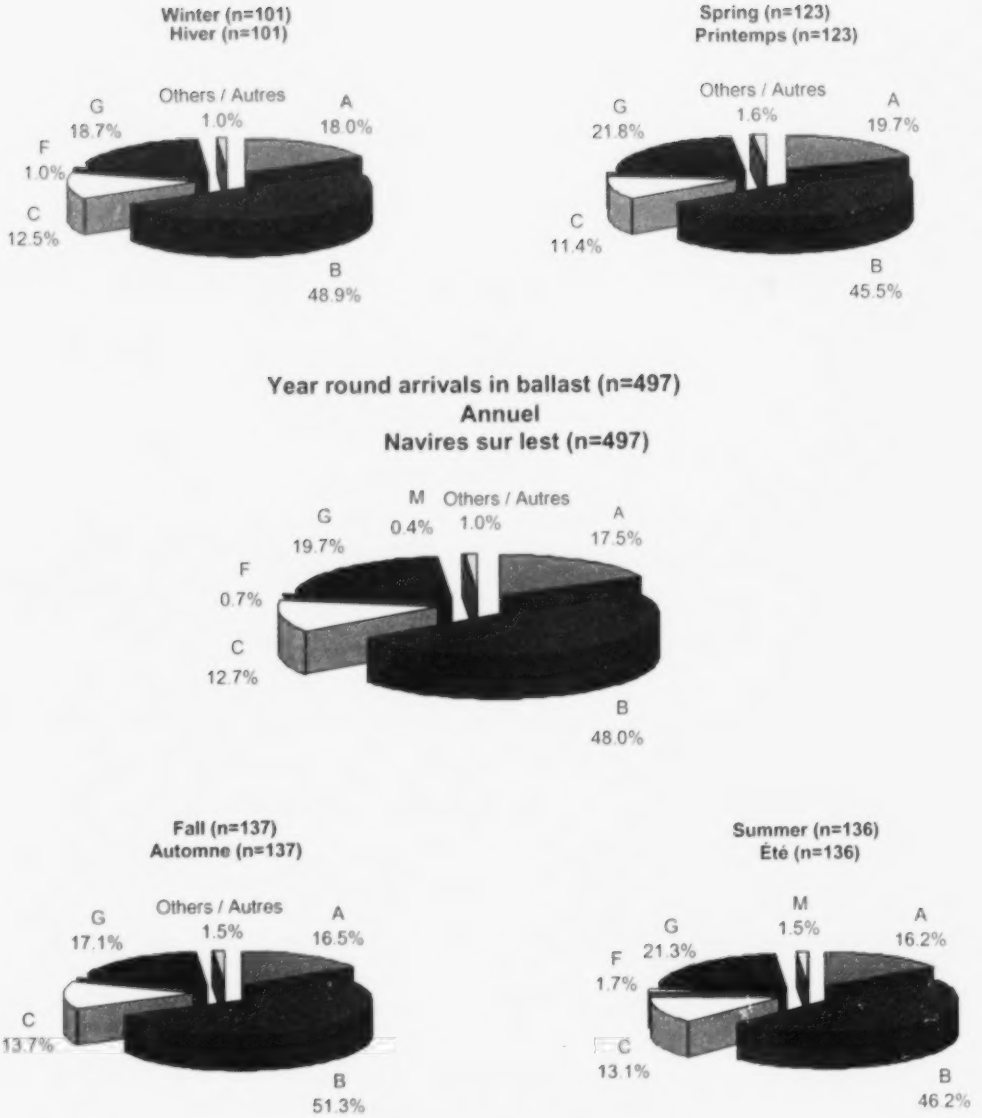


Figure 7. FAO standardized ocean regions of origin (in percentage) of foreign vessels in ballast bound for the St. Lawrence and Great Lakes for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database), seasonal and year-round.

Figure 7. Régions océaniques normalisées (FAO) de provenance des navires sur lest à destination du Saint-Laurent et des Grands Lacs en 2000, par saison et pour l'année (source : base de données ECAREG-VTS).

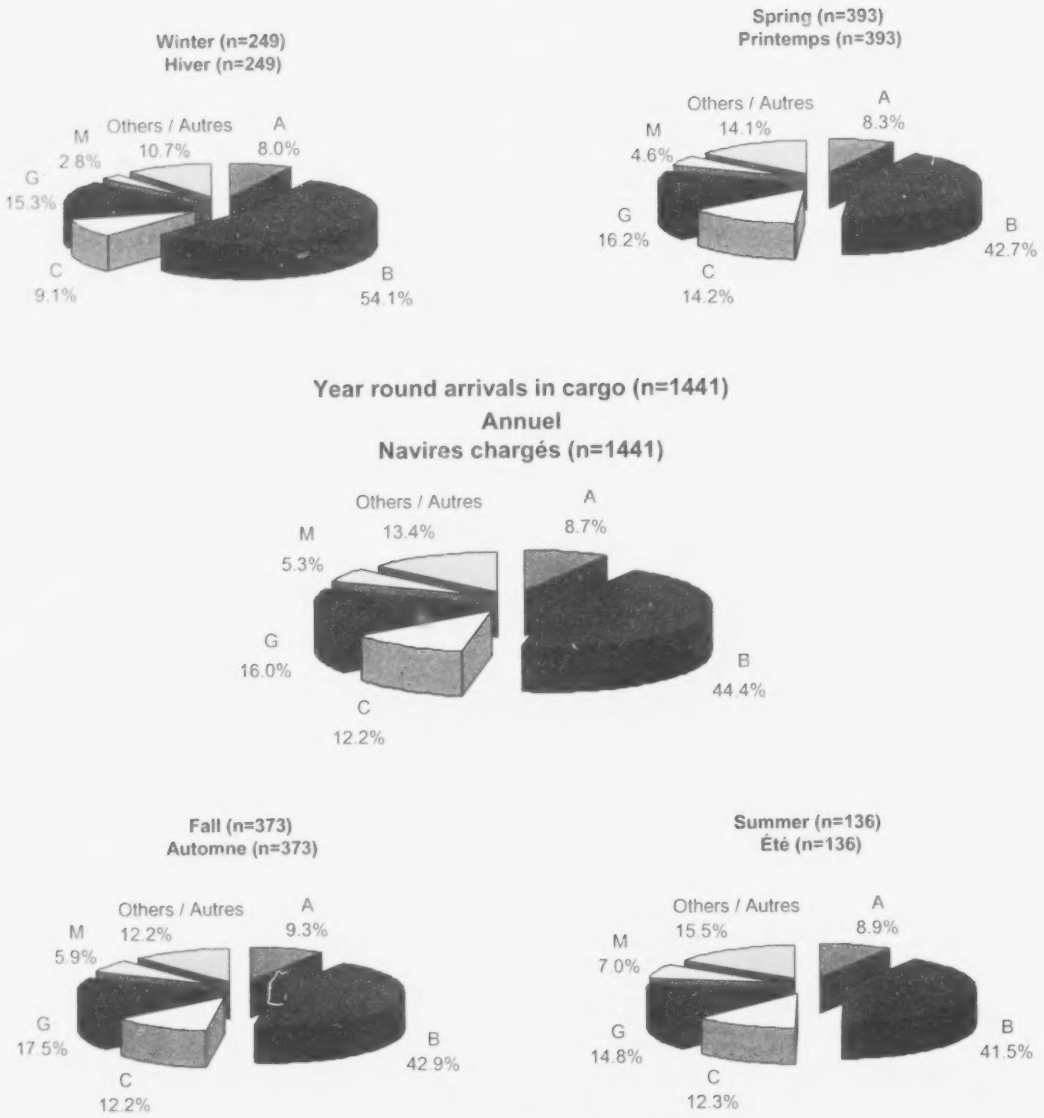


Figure 8. FAO standardized ocean regions of origin (in percentage) of foreign vessels in cargo bound for the St. Lawrence and Great Lakes for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database), seasonal and year round.

Figure 8. Régions océaniques normalisées (FAO) de provenance (en pourcentage) des navires chargés à destination du Saint-Laurent et des Grands Lacs en 2000, par saison et pour l'année (source : base de données ECAREG-VTS).

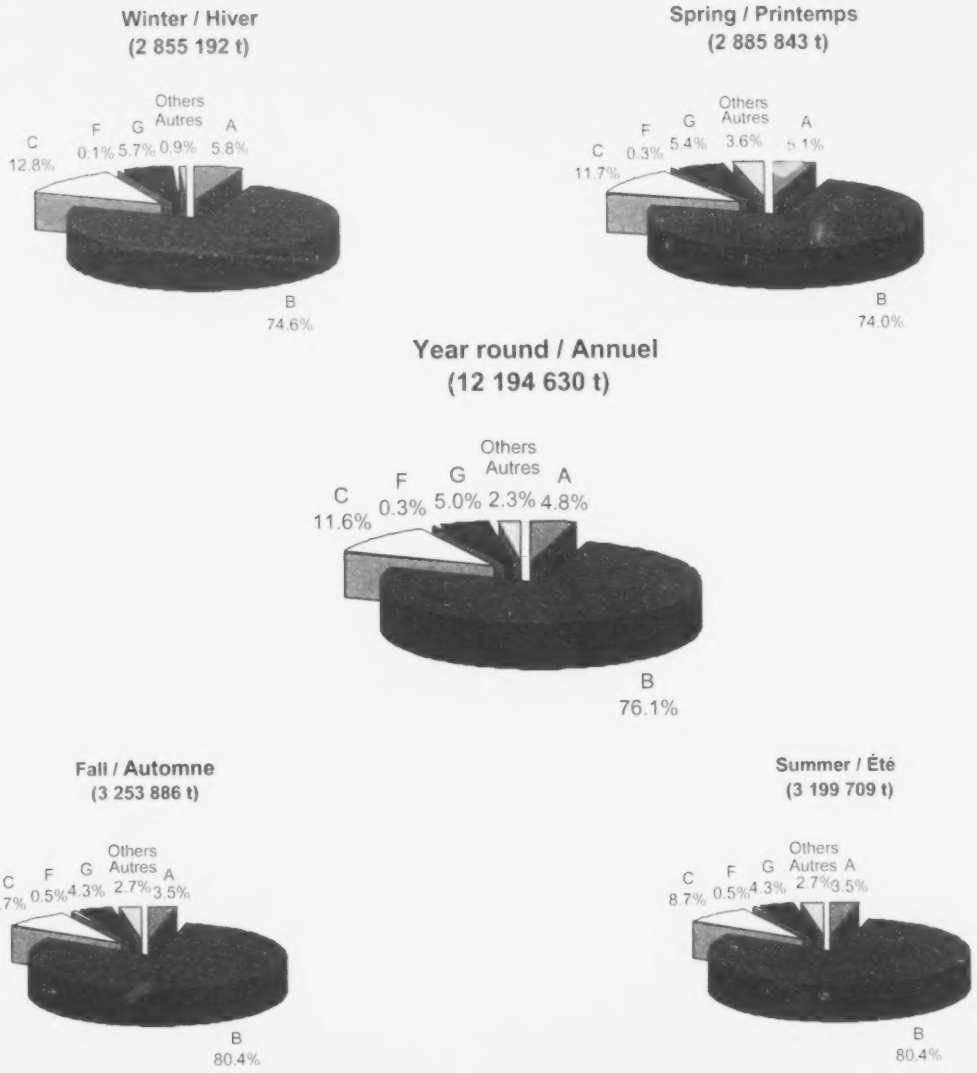


Figure 9. FAO standardized ocean regions of origin (in percentage) of all estimated ballast water carried on arrival in the St. Lawrence and Great Lakes for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database), seasonal and year round.

Figure 9. Régions océaniques normalisées (FAO) de provenance (en pourcentage) de toutes les eaux de lest estimées à l'arrivée dans le Saint-Laurent et les Grands Lacs en 2000, par saison et pour l'année (source : base de données ECAREG-VTS).

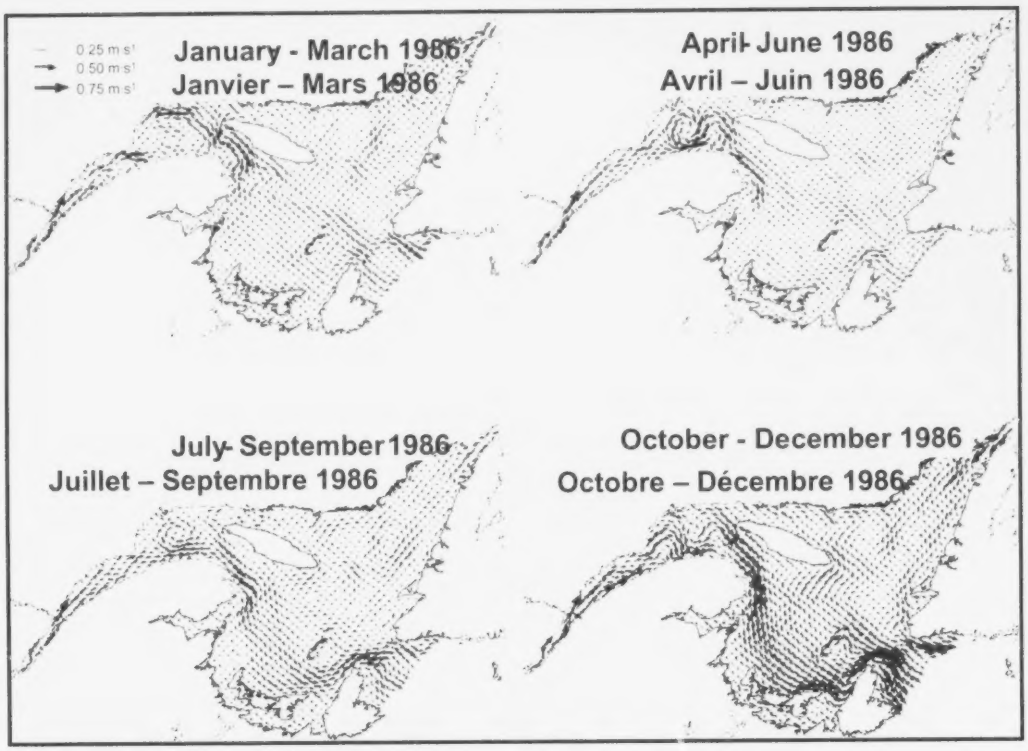


Figure 10. Surface circulation in the Gulf of St. Lawrence (Source: F.J. Saucier, ISMER, Rimouski, Quebec).

Figure 10. Circulation de surface dans le golfe du Saint-Laurent (source : F. J. Saucier, ISMER, Rimouski, Québec).

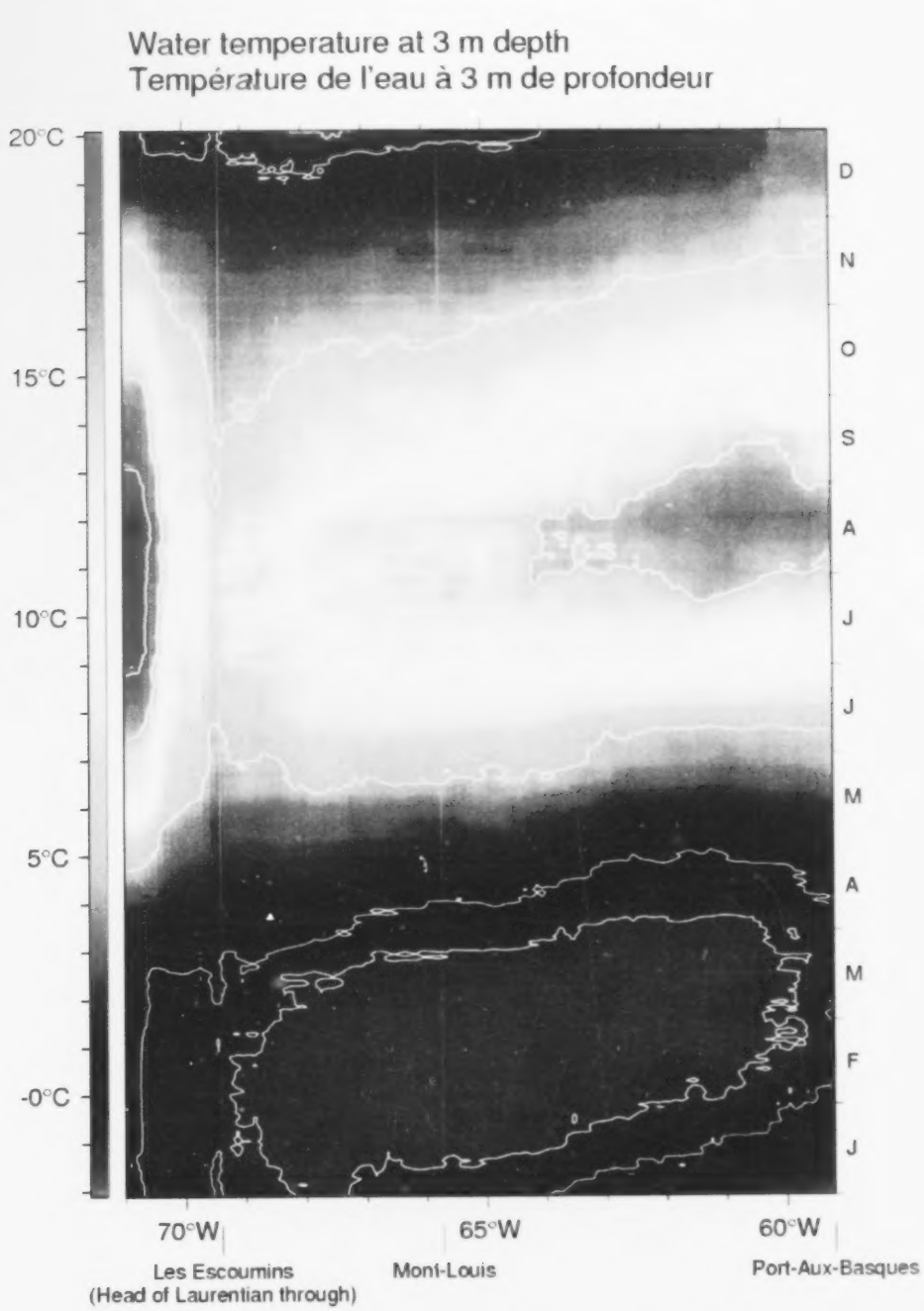


Figure 11. Mean water temperature at 3 m depth along the Cicero ship track from 2000-2004 (Source: Galbraith 2005; http://www.osl.gc.ca/produits/donnees/tsg/produits/cicero-avg-e.html).

Figure 11. Température moyenne de l'eau à une profondeur de 3 m sur le trajet du *Cicero* entre 2000 et 2004 (source : Galbraith 2005; http://www.osl.gc.ca/produits/donnees/tsg/produits/cicero-avg.html).

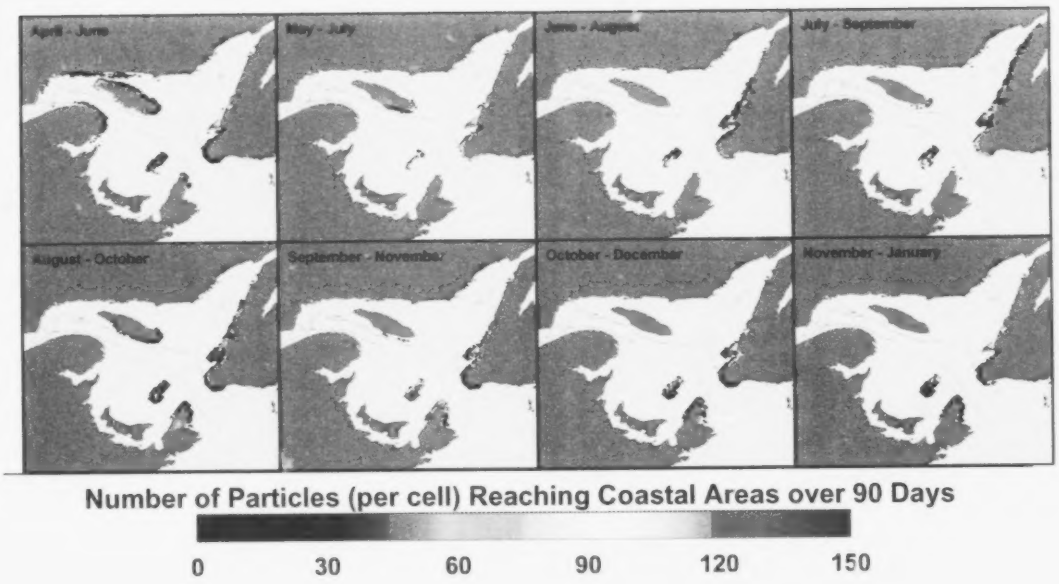


Figure 12. Estimated number of particles reaching coastal areas as estimated from 8 phytoplankton surface dispersion simulations.

Figure 12. Nombre estimé de particules qui atteignent les régions côtières, calculé à partir de huit simulations de dispersion du phytoplancton à la surface.

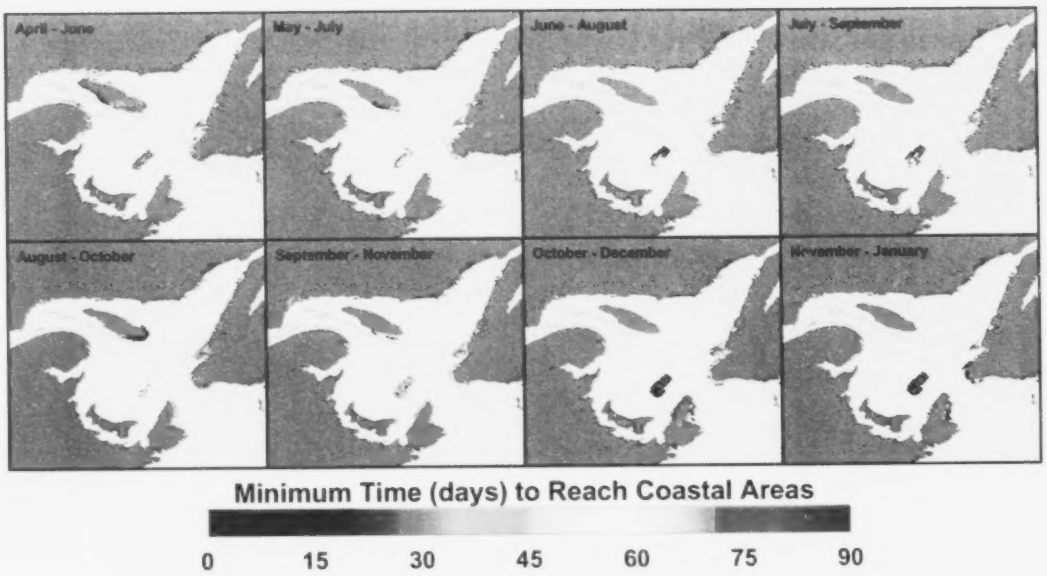


Figure 13. Estimated time needed to reach coastal areas as estimated from 8 phytoplankton surface dispersion simulations.

Figure 13. Temps estimé nécessaire pour atteindre les régions côtières, calculé à partir de huit simulations de dispersion du phytoplancton à la surface.

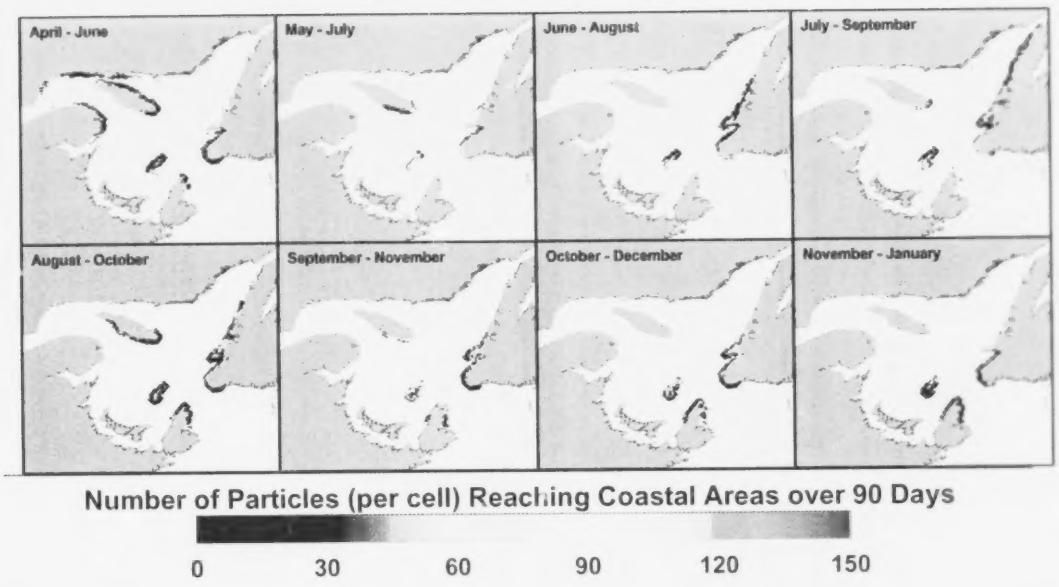


Figure 12. Estimated number of particles reaching coastal areas as estimated from 8 phytoplankton surface dispersion simulations.

Figure 12. Nombre estimé de particules qui atteignent les régions côtières, calculé à partir de huit simulations de dispersion du phytoplancton à la surface.

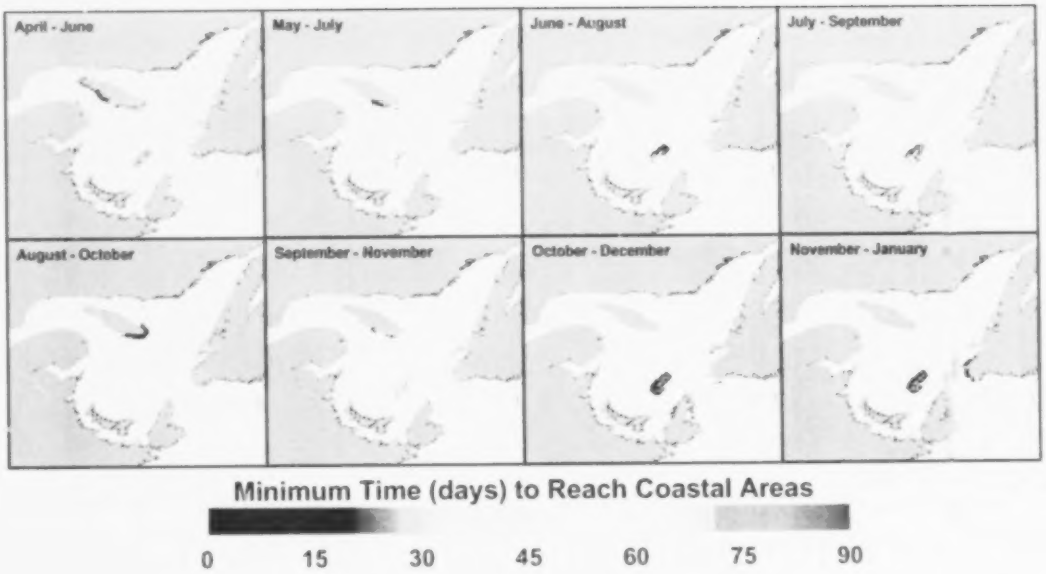


Figure 13. Estimated time needed to reach coastal areas as estimated from 8 phytoplankton surface dispersion simulations.

Figure 13. Temps estimé nécessaire pour atteindre les régions côtières, calculé à partir de huit simulations de dispersion du phytoplancton à la surface.

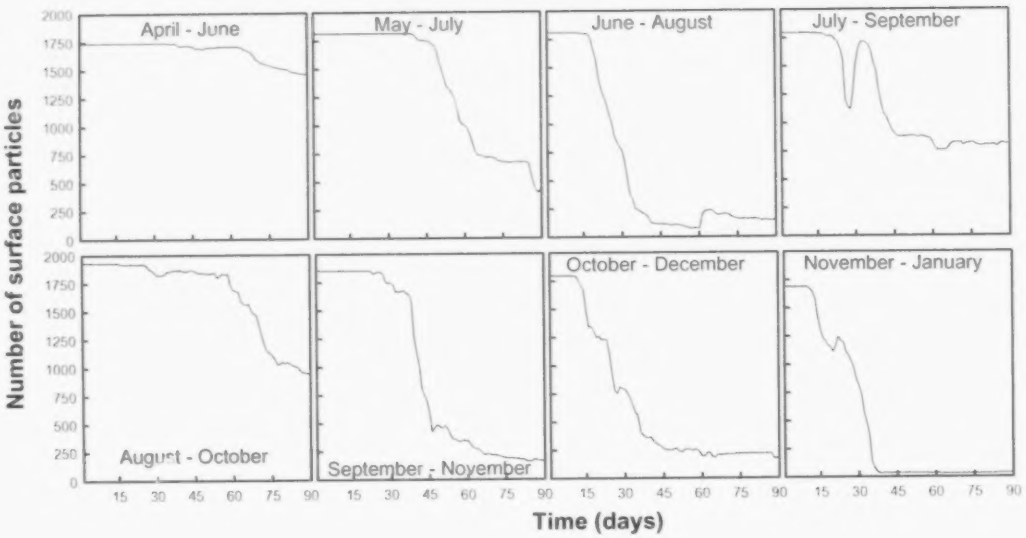


Figure 14. Estimated number of particles retained in the Gulf of St. Lawrence as estimated from 8 phytoplankton surface dispersion simulations.

Figure 14. Nombre estimé de particules retenues dans le golfe du Saint-Laurent, calculé à partir de huit simulations de dispersion du phytoplancton à la surface.

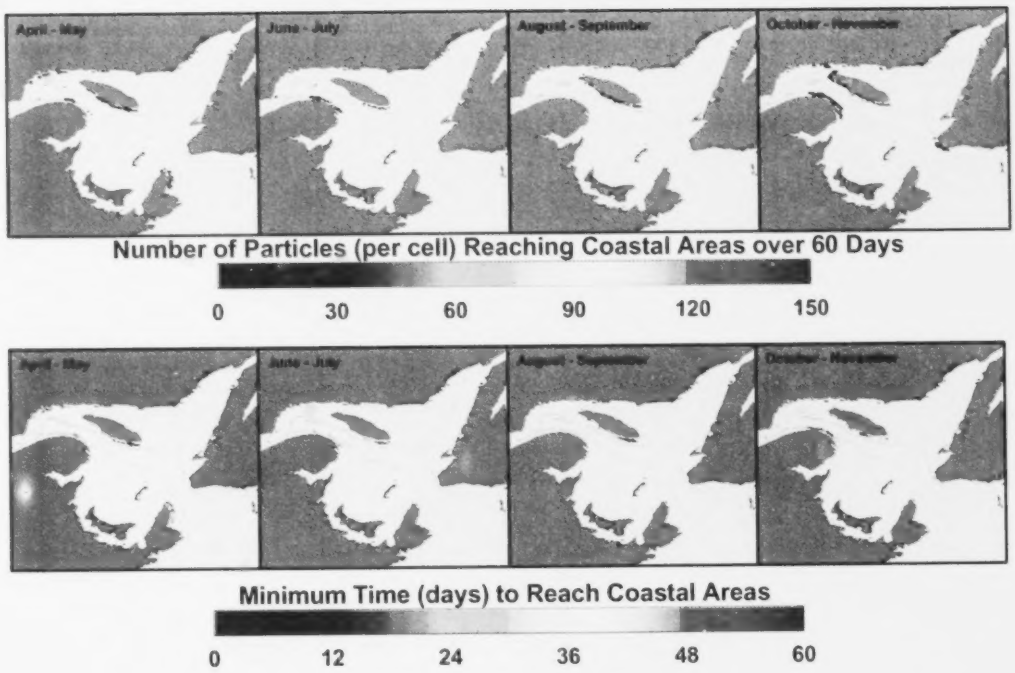


Figure 15. Estimated number of particles reaching coastal areas and minimum time to reach coastal areas as estimated from 4 zooplankton dispersion simulations.

Figure 15. Nombre estimé de particules qui atteignent les régions côtières et temps minimal estimé requis pour atteindre les régions côtières, calculés à partir de quatre simulations de dispersion du zooplancton.

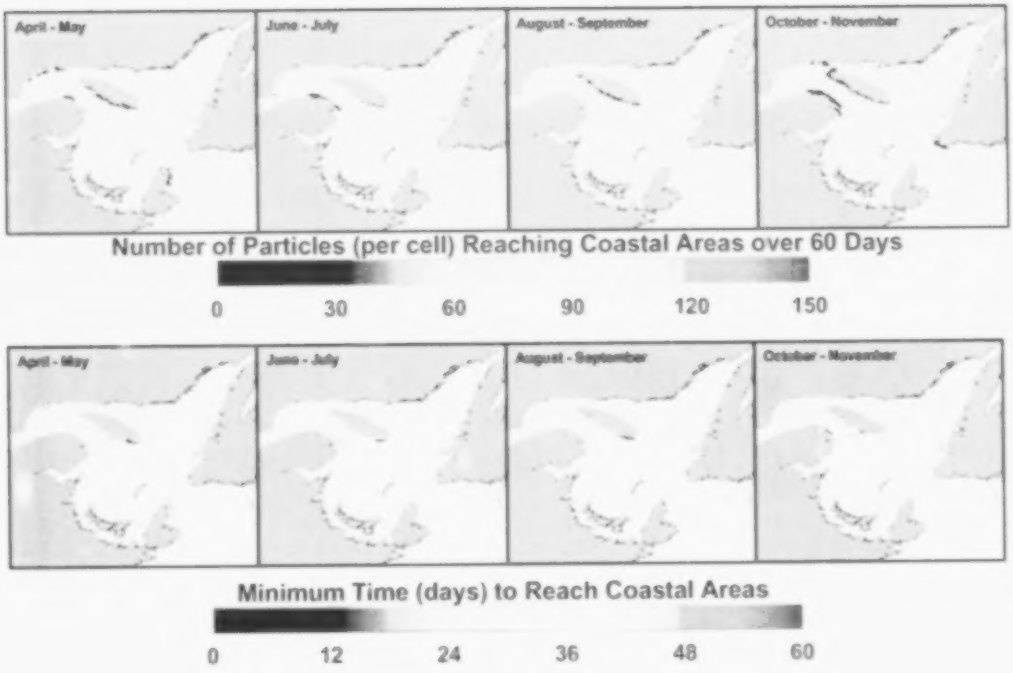


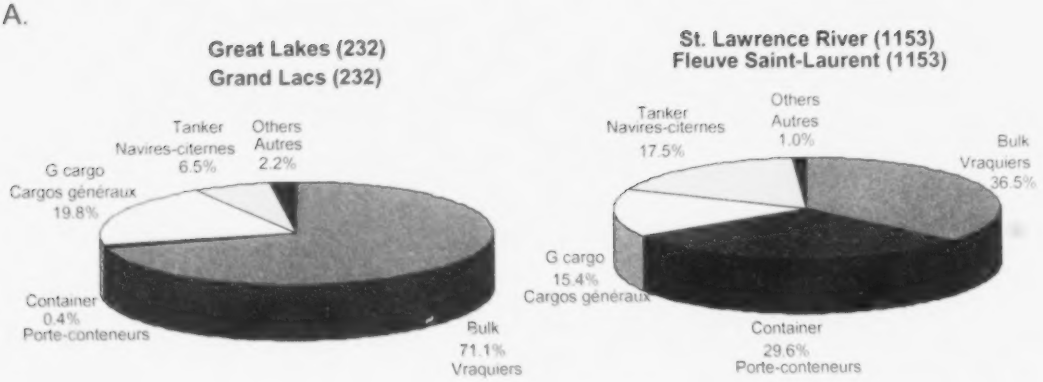
Figure 15. Estimated number of particles reaching coastal areas and minimum time to reach coastal areas as estimated from 4 zooplankton dispersion simulations.

Figure 15. Nombre estimé de particules qui atteignent les régions côtières et temps minimal estimé requis pour atteindre les régions côtières, calculés à partir de quatre simulations de dispersion du zooplancton.

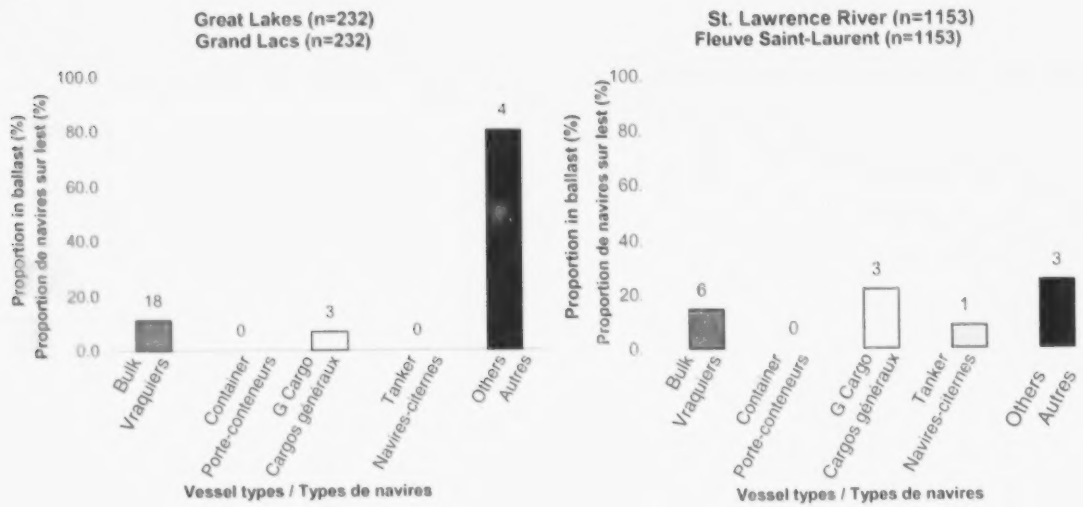
APPENDICES

ANNEXES

A.



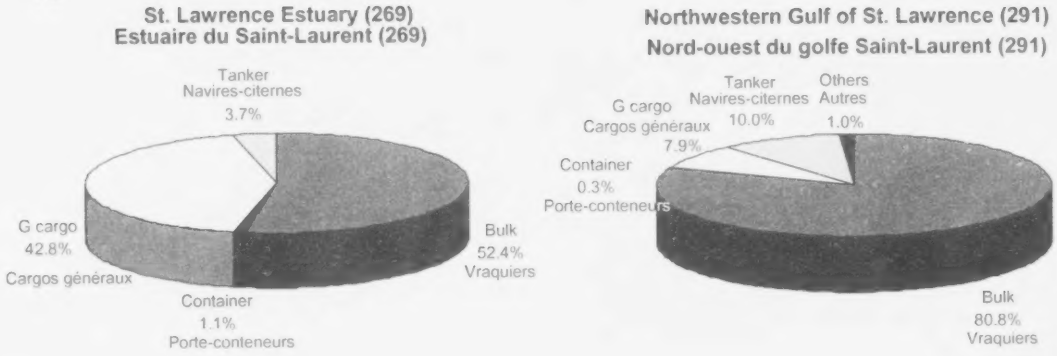
B.



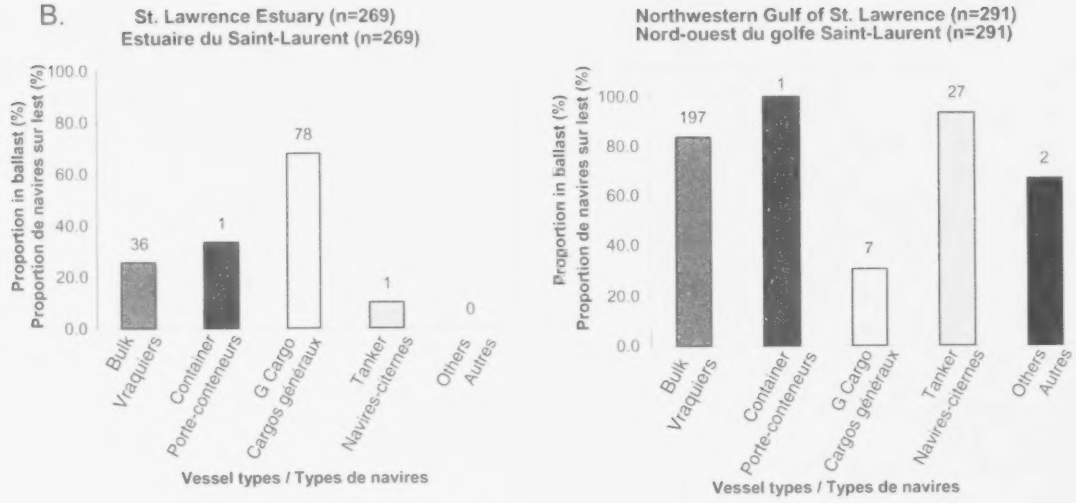
APPENDIX A. A. Relative importance, in percentage of total number of vessels bound for the four major areas of activity in the Great Lakes and St. Lawrence, of each vessel type. B. Proportions of vessels bound for the four regions arriving in ballast for each vessel type for the 2000 shipping season (source ECAREG-VTS database). Numbers over the bars indicate the number of vessels in ballast. Other vessel types include Barges, Tugs, Merchant Ore, Merchant Passenger, Merchant Reefer and Special Purpose Vessels. Numbers over the bars indicate the number of vessels.

ANNEXE A. A. Importance relative, en pourcentage du nombre total de navires à destination des quatre principales régions d'activité dans les Grands Lacs et le Saint-Laurent, pour chaque type de navire. B. Proportions de navires sur lest à destination des quatre régions, par type de navires, pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS). Le nombre de navires sur lest apparaît au-dessus des bandes des histogrammes. La catégorie « Autres » inclut les barges, les remorqueurs, les navires marchands de minerais, de passagers et réfrigérés et les navires à fonctions spéciales. Le nombre de navires apparaît au-dessus des bandes.

A.



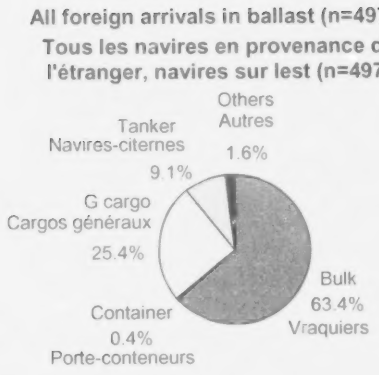
B.

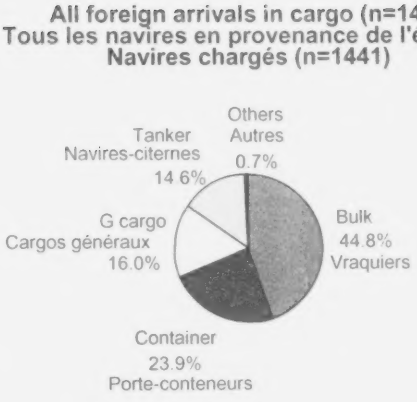


APPENDIX A. A and B continued.

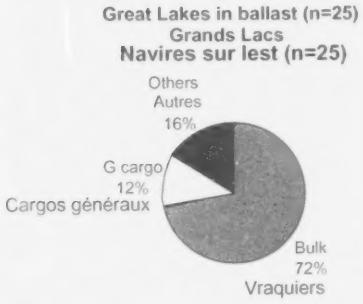
ANNEXE A. A et B (suite).

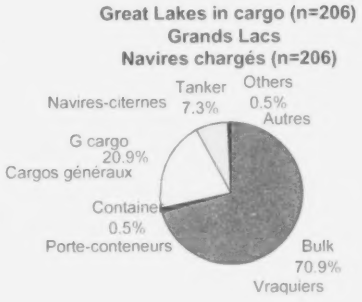
A.

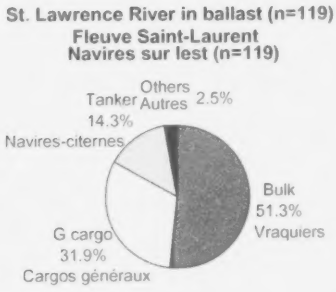


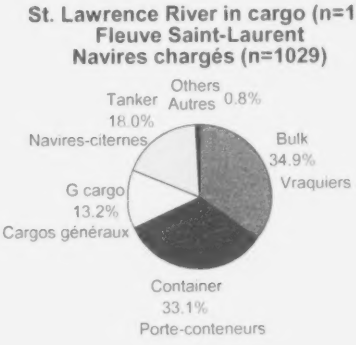


B.





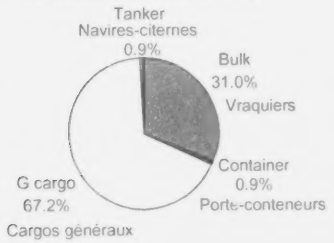




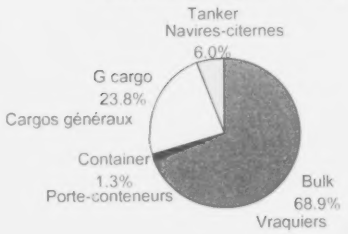
APPENDIX B. Relative importance, in percentage of total number of vessels, of the types of vessels bound for A. the St. Lawrence and Great Lakes; and B. to the four major areas of activity for vessels in ballast (left) and in cargo (right) for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database).

ANNEXE B. Importance relative, en pourcentage du nombre total de navires, de chaque type de navires à destination : A) du Saint-Laurent et des Grands Lacs; B) des quatre principales régions d'activité pour les navires sur lest (gauche) et chargés (droite) pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS).

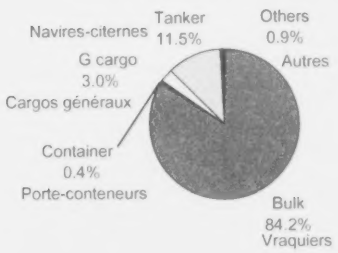
St. Lawrence Estuary in ballast (n=116)
Estuaire du Saint-Laurent
Navires sur lest (n=116)



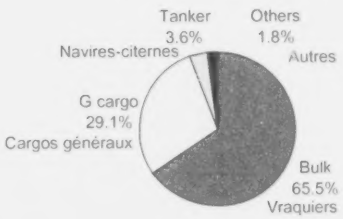
St. Lawrence Estuary in cargo (n=151)
Estuaire du Saint-Laurent
Navires chargés (n=151)



Northwestern Gulf of St. Lawrence in ballast (n=234)
Nord-ouest du golfe Saint-Laurent
Navires sur lest (n=234)

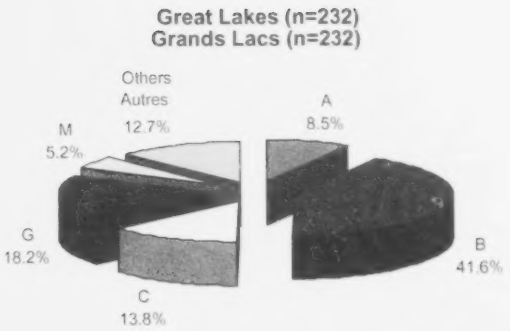


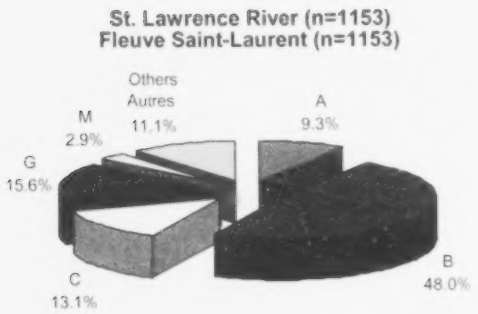
Northwestern Gulf of St. Lawrence in cargo (n=55)
Nord-ouest du golfe Saint-Laurent
Navires chargés (n=55)

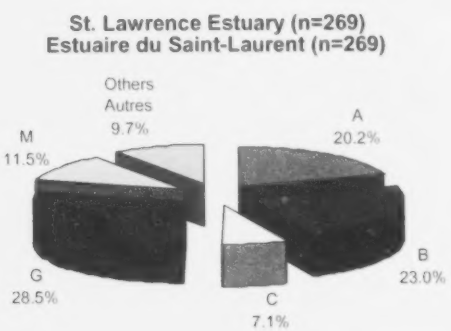


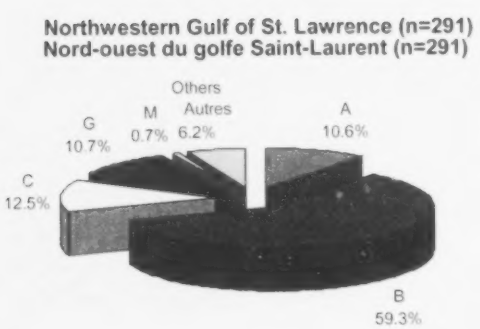
APPENDIX B: B Continued.

ANNEXE B: B (suite).





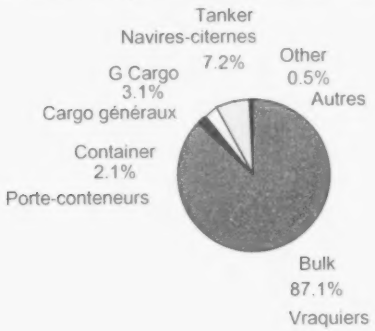




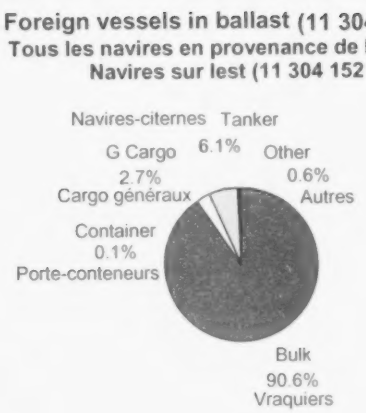
APPENDIX C. FAO standardized ocean regions of origin (in percentage) of all foreign vessels bound to the four major areas of activity for the 2000 shipping season from ECAREG-VTS database.

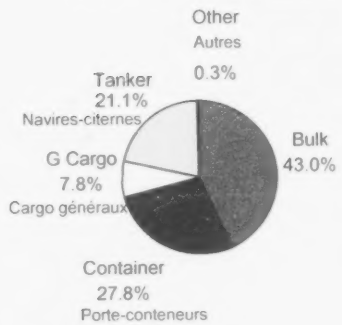
ANNEXE C. Régions océaniques normalisées (FAO) de provenance (en pourcentage) de tous les navires à destination des quatre principales régions d'activité pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS).

A.



B.





APPENDIX D. Relative importance, in percentage of ballast water carried on arrival, of each vessel type estimated for the 2000 shipping season (source: ECAREG-VTS database). A. All foreign vessels; B. Foreign vessels in ballast (left) and in cargo (right).

ANNEXE D. Importance relative estimée, en pourcentage d'eaux de lest transportées à l'arrivée, de chaque type de navires pour la saison de navigation 2000 (source : base de données ECAREG-VTS). A. Tous les navires en provenance de l'étranger; B. Navires en provenance de l'étranger sur lest (gauche) et chargés (droite).